ÜBER DIFFUSION UND ABSORPTION VON WASSERSTOFF IN QUARZGLAS.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

UNIVERSITÄT LEIPZIG

ACAD.
LUGD. BAT.
BIBL.

VORGELEGT VON

HERMANN WÜSTNER

AUS DRESDEN.

LEIPZIG,
DRUCK VON STURM & KOPPE (A. DENNHARDT),
1914.

Angenommen von der III. Sektion auf Grund der Gutachten der Herren

Des Coudres und Wiener.

Leipzig, den 16. Juni 1914.

Der Procancellar.
Kirchner.

Meinen Eltern
in Liebe und Dankbarkeit.

Vorliegende Arbeit wurde im Theoretisch-physikalischen Institut der Universität Leipzig ausgeführt.

Meinem hochverehrten Lehrer

Herrn Geheimrat Prof. Dr. Th. Des Coudres

gestatte ich mir auch an dieser Stelle für die mir stets in liebenswürdiger Weise zu teil gewordene Unterstützung den aufrichtigsten Dank auszusprechen.

Inhalt.

	Seite
EINLEITUNG	1
I. TEIL. Vorversuche und technische Fortschritte im Arbeiten mit Quarzgefäßen in Bomben für hohe Temperaturen und hohe Drucke	3
Beschreibung der Apparate	3
Ergebnisse der Vorversuche	4
II. TEIL. Diffusion und Absorption von Wasserstoff in Quarzglas	11
A. Mathematische Behandlung der Diffusion	11
B. Experimentelle Bestimmung der Diffusion und Absorption	13
I. Diffusion	13
Beschreibung der Druckapparate	14
Vorversuche über Diffusion	17
Diffusionsversuche mit dünnen Wänden	20
Berechnung des Diffusionskoeffizienten. $k = k$ (Temperatur)	27
Diffusionsversuche bei variablem Druck	34
II. Absorption	37
Versuchsanstellung und Absorptionsgefäße	38
Übersicht über die Absorptionsversuche	44
Berechnung des Absorptionskoeffizienten. $\alpha = \alpha$ (Temperatur)	50
III. TEIL. Diffusionsversuche mit Sauerstoff und Stickstoff	53
ZUSAMMENFASSUNG	55

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546828_0080

Einleitung.

Bei den Versuchen von Des Coudres[1]) und Watson[2]) in Bomben für hohe Drucke und hohe Temperaturen ist das Verhalten des Quarzes bei hohen Temperaturen und die Diffusion des Wasserstoffes durch den Quarz von hoher Bedeutung. Als Zersetzungsprodukt des paraffinum liquidum, das als Druckflüssigkeit von der Pumpe bis zur Bombe benutzt wird und beim Nachdrücken mit der Preßschraube auch in die Bombe gelangt, entsteht bei den hohen Temperaturen in der Bombe fast immer Wasserstoff, der dann, da wegen der hohen Temperatur nur Quarzapparate in Verwendung kommen können, leicht in die Gefäße hineindiffundieren und den ganzen Versuch störend beeinflussen kann. Auf diese störende Diffusion des Wasserstoffs in die Quarzgefäße führt Des Coudres z. B. den plötzlichen Sprung in der Leitfähigkeit der Salzsäure über 2000 Atm. zurück.

Meine Arbeit gibt im I. Teil, der sich mit Vorversuchen beschäftigt, die neue technische Fortschritte im Arbeiten mit Quarzgefäßen bringen sollten, ein Schutzmittel gegen die störende Diffusion des Wasserstoffs in die Quarzgefäße, so daß man jetzt sicher sein kann, keinen Wasserstoff in die Gefäße hineinzubekommen, ohne daß die Verunreinigung des Wassers in der Bombe durch paraffinum liquidum in Frage kommt.

[1]) Berichte der mathematisch-physikalischen Klasse der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig XVII, S. 296.

[2]) ibid., XVIII, S. 264.

Im II. Teil wird die Absorption und Diffusion des Wasserstoffs in Quarz quantitativ untersucht. Der erste, der die Diffusion des Wasserstoffs in Quarz festgestellt hat, ist wohl Villard (Comptes rendus t. CXXXVIII p. 1033, séance du 25 avril 1904), wie auch M. M. Jacquerod und Perrot in ihrer Arbeit: «Sur la dilatation de quelques gaz entre 0° et 1000°» (Comptes rendus t. CXXXIX p. 789, séance du 14 novembre 1904) anführen. Berthelot hat dann in seiner Arbeit: «Sur les vases de silice ou quartz fondu : leur emploi en chimie, leur perméabilité» (Annales de chimie et de physique, Serie VIII, 6) die Diffusion von verschiedenen Gasen durch Quarz untersucht. Berthelot findet den Quarz bei gewöhnlicher Temperatur gegenüber Wasserstoff vollkommen undurchlässig. „Bei 600° und 800° ist die Diffusion bei einer Wandstärke von 0,7 mm am Ende einer Stunde noch nicht merklich, dagegen beträchtlich bei 1300°.“ Viel strengere quantitative Angaben gibt Berthelot nicht. Sicher ist es auch ziemlich langwierig, nach der Methode Berthelots quantitative Versuche anzustellen, da diese wie die meisten Diffusionserscheinungen unter gewöhnlichen Bedingungen so langsam vor sich gehen. Will man aber die Diffusion beschleunigen, so kann man erstens die Wandstärke recht dünn wählen. Solche Gefäße mit einer Wandstärke weit unter 0,7 mm wären, an sich schon schwer herstellbar, zu leicht zerbrechlich. — Zweitens kann man den Diffusionsquerschnitt vergrössern. Große Gefäße mit dünner gleichmäßiger Wandstärke wären aus Quarz auch schwer herzustellen und dann böt auch die Heizung solch großer Gefäße eine Menge technischer Schwierigkeiten. — Drittens kann man schließlich den Druck recht groß wählen. Dazu gehören aber Bomben für hohe Drucke und hohe Temperaturen wie die von Des Coudres, die ich bei meinen Diffusionsversuchen benutzen durfte.

I. Teil.

Vorversuche und technische Fortschritte im Arbeiten mit Quarzgefäßen in Bomben für hohe Drucke und hohe Temperaturen.

Beschreibung der Apparate.

Benutzt wurde immer die Bombe, die Des Coudres in den Berichten der mathematisch-physikalischen Klasse der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig, Band LXII beschreibt. Diese Bombe gestattet Versuche bei Temperaturen bis 1300° und Drucken bis 2000 Atm. in Quarzgefäßen auszuführen. Um später darauf zurückgreifen zu können, möchte ich das Hauptsächlichste der Konstruktion der Bombe hier erwähnen. Ein Gußstahlzylinder (60 cm lang, 18 cm Durchmesser) hat eine durchgehende axiale Bohrung von 6 cm Weite. Die beiden Enden werden durch genügend kräftige Bajonettverschlüsse mit Vulkanfiber-Leder-Dichtungen abgeschlossen. Durch beide Verschlußköpfe ist isoliert die Heizstromleitung durchgeführt. Außerdem befinden sich in dem oberen Verschlußkopf vier isolierte elektrische Zuleitungen für die zur Temperaturmessung dienenden Thermoströme. Am oberen Verschlußkopf sitzt ein Platinofen fest daran, der von zylindrischen Nickelrohren als Wärmeisolationskammern umgeben wird. Der Platinofen läuft in ein starkes Kupferende aus, das bei geschlossenen Bajonettverschlüssen in einen Eisen-

becher mit Quecksilber taucht, der am unteren Verschlußkopf festsitzt. Der untere Verschlußkopf trägt auch noch eine stählerne Kühlschlange, die an der Innenwand der Bombe anliegt, für ständige Wasserkühlung bei langdauernden Versuchen bei hoher Temperatur.

Durch eine seitliche Bohrung an der Bombe führt die Druckzuleitung von der Bombe über den Separator, über die Preßschraube mit Manometer zur Vorpumpe. Der Separator soll nach Art eines aufrechtstehenden „U"-Rohres, dessen Schenkel zur Hälfte mit Quecksilber gefüllt sind, die Ölseite (Manometer, Preßschraube und Vorpumpe) von der Wasserseite (Bombe mit Druckzuleitung bis an den Separator) trennen. Die Schenkel des Separators sind zwei starke Mannesmannrohre (außen 45 mm, innen 20 mm im Durchmesser), 1,35 m lang, die in einen Stahlblock (18 cm lang, 10 cm breit, 10 cm hoch) mit einer 4 mm gebohrten Verbindungsdurchführung, fest verschraubt sind.

Der Heizstrom, der immer gegen 1100 Ampère beträgt, wird von der bequem regulierbaren Wechselstromtransformationsanlage (Dissertation Freys S. 14) geliefert.

Die Temperatur im Ofen wird mit Pt.-Pt.-Rhd.-Elementen gemessen.

Ergebnisse der Vorversuche.

Durch die Vorversuche sollten vor allem zwei Versuchstatsachen im Arbeiten mit Quarzgefäßen bei hohen Temperaturen und hohem Druck erklärt werden.

Im einem ersten Teil sollte das Angegriffenwerden des Quarzes bei hoher Temperatur untersucht, vielleicht durch Anwendung einer neuen Druckflüssigkeit für die Bombe vermindert werden.

In einem zweiten Teile sollte das Eindringen von Gas in die Quarzgefäße aufgeklärt werden.

I. Teil.

Beim Erhitzen des Quarzes an freier Luft tritt erst bei Temperaturen über 1300° eine Zersetzung des Quarzes ein, die die Folgeerscheinung einer Kristallbildung an der Oberfläche des Quarzglases ist. Von A. Lacroix sind die aus dem Quarz entstandenen Kristalle als Cristobalit identifiziert worden. (Siehe Silikatzeitschrift, 1. Jahrg.; Coburg Januar 1913.) Riecke und Endel haben die Verschiedenheit der spezifischen Gewichte von Quarz (spez. Gew. 2,22) und Cristobalit (spez. Gew. 2,33) dazu benutzt, die Abhängigkeit der Cristobalitbildung von der Temperatur quantitativ zu untersuchen. Die Entglasung des Quarzes ist weiter stark abhängig von der Reinheit des Quarzglases. Anwesenheit von Alkalien und Metalloxyden begünstigen die Umwandlung.

In der Bombe wird nun leider schon bei 800° der Quarz ziemlich stark angegriffen, weil eben das Wasser zur Begünstigung der Umwandlung in Cristobalit immer genügend unrein ist, auch wenn man die ganze Bombe vor dem Versuche so gründlich wie möglich gereinigt und mit frischem aqua destillata angefüllt hat. Um zu zeigen, daß nicht etwa besonders das Kaolin, das den Platinofen zur größeren Wärmekonzentration umbettet, den Quarz schädlich beeinflußt, wurde der Quarz in einem Kölbchen der unmittelbaren Einwirkung des Kaolins bei 1000° ausgesetzt. Der Quarz zeigte sich aber nach dem Versuche nicht stärker als in einem Ofen ohne Kaolinschutz angegriffen.

Da Säuren die Zersetzung des Quarzes wesentlich beheben, suchte ich nach einer sauren Lösung als Bomben-

flüssigkeit. Die einzige Säure, die hohen Temperaturen standhält und auch wegen des Stahles zur Verwendung kommen kann, ist Borsäure. Die ganze Bombe wurde deshalb mit Borsäurelösung (10%ig) angefüllt. Quarzgefäße, die auch mit Borsäurelösung gefüllt waren, wurden in der Bombe auf 1150° bei 800 Atm. 30 Min. erhitzt. Der Quarz zeigte sich aber nicht merklich weniger angegriffen. Solche Versuche wurden in größerer Anzahl angestellt, bald mit destilliertem Wasser im Kölbchen und Borsäurelösung in der Bombe, bald mit Borsäurelösung in verschiedenen Konzentrationen im Quarzkölbchen und aqua destillata als Druckflüssigkeit. Im allgemeinen erhielt man aber keine wesentliche Verbesserung durch Anwendung der Borsäure. Bei den letzten Versuchen mit Borsäure zeigte sich sogar eine ganz ungewöhnlich starke Zersetzung der Quarzgefäße. Und das kam von der reinigenden Wirkung der Borsäure auf Stahlteile. Die Borsäure hatte so allen Öl- und Rost-schmutz, der sich in den Fugen zwischen der Kühlschlange und sonst versteckt vorfand, losgelöst. Beim Hineinsetzen des Verschlußkopfes kam dann aller Schmutz auch mit in den Ofen und konnte so eine starke Zersetzung der Quarzgefäße herbeiführen. Trotzdem wären die Versuche mit Borsäure als Bombenflüssigkeit noch nicht ganz aufgegeben worden, hätte sich nicht eine weitere unangenehme Eigenschaft der Borsäure bemerkbar gemacht. Die Wärmeisolationskammern wurden nämlich so stark von der Borsäure angegriffen, daß der äußere Nickelzylinder 12 Stunden nach einem Versuch ganz mit grünem Nickelsalz überzogen war.

II. Teil.

Bei einigen Versuchen mit Borsäurelösung in Quarzgefäßen zeigte sich oft nach dem Versuche in der Bombe eine Gasblase im Versuchsgefäß, eine Erscheinung, die auch Des

Coudres[1]) und Watson beobachtet haben. Die bisher noch nicht sicher erwiesenen Gründe für das Entstehen einer Gasblase in einem Versuchsgefäß aufzuklären, sollte dieser Teil der Vorversuche zum Ziele haben. Im Anfange strebte ich auf eine Gasanalyse der Gasblase zu. Ich wollte die dünne Spitze eines Quarzgefäßes, in dem sich nach einem Versuche in der Bombe eine Gasblase vorfand, unter Quecksilber abbrechen und das aufgefangene Gas in einer kleinen Heberpipette eudiometrisch untersuchen. Zu diesem Zwecke arbeitete ich mich schon auf Gasanalysen mit so geringen Mengen ein. Füllte ich die Quarzgefäße mit Wasser, so zeigte sich erst am anderen Tage eine Gasblase, die jedenfalls, während des Versuches unter Druck vom Wasser absorbiert, nun herauskam. Füllte ich dagegen die Gefäße mit Quecksilber, so zeigte sich die Gasblase immer sofort nach dem Versuche, wenn überhaupt eine auftrat. Das Auftreten der Gasblasen war nämlich sehr unregelmäßig. Gerade jetzt, wo ich noch außerdem ganz dünne (0,1 mm) Spitzen verwandte, um durch Abbrechen der Spitze das Gas unter Quecksilber auffangen und analysieren zu können, bekam ich bei 15 Versuchen keine Gasblase. Ich machte deshalb einen Radikalversuch mit einem Quarzgefäß mit einer Haube. Das Gefäß wurde wie gewöhnlich mit Quecksilber gefüllt. Dann wurde über die sehr dünne Spitze eine mit Öl und Wasser gefüllte Haube gestülpt. Nach sechs Versuchen bei 1100° und 20 Min. Versuchsdauer war noch keine Spur von Gas im Gefäß zu sehen. Damit war die alte Erklärung, daß die Gasblasen in das Quarzgefäß hineindiffundierte Wasserstoffmengen sind, die als Zersetzungsprodukt aus paraffinum liquidum entstanden sind, widerlegt.

[1]) Berichte der mathematisch-physikalischen Klasse der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig. XVII. Band, p. 300.

Da bei den Borsäureversuchen verhältnismäßig oft Gasblasen entstanden waren, wurde noch der Rost verdächtigt, die Entstehung der Gasblasen zu veranlassen und deshalb ein Versuch mit einem Gefäß mit einer mit Rost und Öl gefüllten Haube angestellt. Nach einem Versuche bei 1100° 375 Atm. 20 Min. in der Bombe fand sich eine ungeheure Gasmenge im Quarzgefäß vor. Das Gefäß war allerdings in der Nähe der Spitze, wo die Quarzhaube am Gefäß aufgesessen hatte, stark zersetzt. Zur Kontrolle wurde der Versuch wiederholt mit einem Gefäß mit recht dünner Spitze, die besonders leicht unter Quecksilber abzubrechen war, um das zu analysierende Gas unter Quecksilber aufzufangen. Wie ich aber das Quarzgefäß, in dem sich wieder reichlich Gas vorfand, mit der Spitze unter Quecksilber brachte, entwich sofort alles Gas aus dem Gefäß. Der Atmosphärendruck auf dem freien Schenkel drückte das Gas durch die brüchigen porösen Stellen des Quarzgefäßes. Ich füllte das Gefäß mit Alkohol und konnte sogar den durch die porösen Stellen leicht dringenden Alkoholdampf außen am Gefäß anzünden, wenn ich durch Blasen einen Druck auf den freien Schenkel ausübte.

Zusammenfassung:

Ist eine Gasblase in einem Quarzgefäß, so hat das Gefäß durch zufälliges in Berührung-kommen mit Metallteilchen eine brüchige Stelle, wo aller Quarz in poröses Cristobalit übergegangen ist. Durch diese ist nach Art eines Diffusionsvorganges durch poröse Scheidewände das Gas, das sich ja als Zersetzungsprodukt des paraffinum liquidum in der Bombe in Menge vorfindet, in das Quarzgefäß eingedrungen.

Um diese Tatsachen noch in vollkommener Weise zu bestätigen, wurde folgender Versuch angestellt. Ein Gefäß mit

abwärtsgerichteter Spitze wurde mit Quecksilber gefüllt. Die mit Öl und Rost gefüllte Haube wurde dann vorsichtig, daß der Rost nicht etwa mit der Quarzspitze in Berührung kommen konnte, von unten über die Spitze geschoben und am Gefäß festgemacht. In Übereinstimmung mit der oben angeführten Zusammenfassung fand sich nach einem Versuch 1100° 900 Atm. 35 Min. keine Spur von Gas im Gefäß.

Zur Beseitigung der schädlichen Einwirkung der Rostteilchen auf den Quarz wurde die Bombe auseinander genommen und in allen Teilen vernickelt. Bei den weiteren Versuchen bewährte sich die Vernickelung vorzüglich. Das Wasser in der Bombe blieb lange sauber und war mit dem früher gar nicht zu vergleichen. Jetzt kam auch erst richtig der Separator zur Geltung, der auch viel mit zu dem gegen früher viel angenehmeren Arbeiten ohne Öl- und Rostschmutz beitrug.

Das allersicherste Arbeiten erreicht man jedoch mit Quarzgefäßen, die durch eine Quecksilberschutzhaube in der allerfeinsten Weise gleichzeitig vor Umwandlung des Quarzes in Cristobalit (Vorversuche I. Teil) und vor Eindringen von Gasen (Vorversuche II. Teil) geschützt werden. Bei meinen Diffusionsversuchen waren solche Gefäße unbedingt erforderlich. Die Gefäße (Figur 3, S. 21) haben eine äußere zylindrische, oben offene Quarzhaube, die mit Quecksilber unter Berücksichtigung der Ausdehnung bei 1000° bis ungefähr 1,25 cm vom oberen Rand entfernt gefüllt wird. Von Wichtigkeit ist dabei, daß die Haube vor der Füllung mit Quecksilber gut getrocknet wird. Dringt etwa durch Erschütterung Wasser an das zu schützende Gefäß, so tritt wieder an den betreffenden Stellen Zersetzung des Quarzes ein. Während des Versuches bei 1000° bleibt das Quecksilber ruhig in der Haube und schützt das Gefäß, in dem der Versuch vor sich geht, vor

allen schädlichen äußeren Einflüssen. Auch bei den höchsten Temperaturen wird der Quarz unter Quecksilber fast gar nicht angegriffen. Bei meinen späteren Versuchen konnte ich Quarzkugeln mit einer Wandstärke unter 0,01 cm gegen 10 Mal für Versuche bei 900° verwenden, ohne daß ein Entglasen in starkem Maße stattfand. Da man solche Gefäße viel ausgiebiger benutzen kann, so spart man, wenn man für die Haube recht wandstarken Quarz von nicht besonders guter Qualität wählt, sicher auch an Material und Herstellungskosten.

II. Teil.

Diffusion und Absorption von Wasserstoff in Quarz.

A. Die mathematische Behandlung der Diffusion.

Im Gegensatz zu den unregelmäßigen Gasblasenresultaten bei Zersetzung der Gefäßwand in Cristobalit, erwies sich die Diffusion durch Quarzglas in unkrystallinischem Zustand, wie durch die folgenden Versuche bestätigt werden wird, als ein Diffusionsvorgang durch einen absorbierenden festen Körper.

Die mathematische Behandlung nimmt in diesem Falle folgende Form an:

$$-q\int_0^t k\left(\frac{\partial \varrho}{\partial x}\right)_{x=0} dt = M$$

ϱ	Konzentration.
t	Zeit.
x	Abstand eines Punktes im Diffusionsraum von der Trennungsebene von Quarz und Gas.
M	Die Menge Gas, die an der Trennungsebene in der Zeit t aufgenommen wird.
q	Diffusionsquerschnitt.
k	Diffusionskoeffizient.
α	Absorptionskoeffizient.
∂	Dichte.

Erster Fall: Unendlich dicke Diffusionswand.

(1) Die Diffusionsgleichung $\frac{\partial \varrho}{\partial t} = k \frac{\partial^2 \varrho}{\partial x^2}$

gibt unter den Nebenbedingungen $\left| \begin{array}{l} x = 0 \text{ soll } \varrho = a \\ t = 0 \text{ soll } \varrho = 0 \text{ für alle } x > 0 \end{array} \right.$

(2) das Integral $\varrho = a \left[1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{kt}}} e^{-\eta^2} d\eta\right]$

(3) $M = -q \int_0^t k \left(\frac{\partial \varrho}{\partial x}\right)_{x=0} dt = \left[q \frac{2a\sqrt{k}}{\sqrt{\pi}} \sqrt{t}\right]_0^t$

(4) I. $M = 2aq \sqrt{\frac{kt}{\pi}}$

Zweiter Fall: Durch zwei parallele Ebenen (Abstand l) begrenzte Diffusionswand.

(5) Die Diffusionsgleichung $\frac{\partial \varrho}{\partial t} = k \frac{\partial^2 \varrho}{\partial x^2}$

gibt unter den Nebenbedingungen $\left| \begin{array}{l} t = 0 \text{ soll } \varrho = 0 \text{ für alle } x > 0 \\ x = 0 \text{ soll } \varrho = a \\ x = l \text{ soll } \varrho = 0 \end{array} \right.$

das Integral

(6) $\varrho = a\left(1 - \frac{x}{l}\right) - \frac{2a}{\pi}\left(\frac{1}{1}\sin\frac{1 \cdot \pi x}{l} e^{-\frac{1^2 \pi^2 kt}{l^2}} + \frac{1}{2}\sin\frac{2 \cdot \pi x}{l} e^{-\frac{2^2 \pi^2 kt}{l^2}} + \cdots\right)$

$$(7)\quad M = q\int_0^t k\left(\frac{\partial \varrho}{\partial x}\right)_{x=o} dt = \left[q\frac{kat}{l} - q\frac{2al}{\pi^2}\left(\frac{1}{1^2}e^{-\frac{1^2\pi^2 kt}{l^2}} + \frac{1}{2^2}e^{-\frac{2^2\pi^2 kt}{l^2}} + \cdots\right)\right]_0^t$$

$$(8)\quad q\frac{2al}{\pi^2}\left(\frac{1}{1^2}+\frac{1}{2^2}+\frac{1}{3^2}+\frac{1}{4^2}+\cdots\right) = q\frac{2al}{\pi^2}\cdot\frac{\pi^2}{6}$$

$$(9)\quad \text{II.}\quad M = q\frac{akt}{l} + q\frac{2al}{\pi^2}\left(\frac{\pi^2}{6} - \frac{1}{1^2}e^{-\frac{1^2\pi^2 kt}{l^2}} - \frac{1}{2^2}e^{-\frac{2^2\pi^2 kt}{l^2}} - \cdots\right)$$

Anmerkung:

1. Setzt man $\frac{\pi^2 kt}{l^2} = z$, so weicht erst für $z = 4$ M (für die durch zwei parallele Ebenen begrenzte Diffusionswand) von M (für die unendlich lange Diffusionswand) um 2% ab.
2. Für recht großes z nähert sich M (II) der Grenze

$$(10)\quad M = \frac{qakt}{l} + \frac{qal}{3}.$$

B. Experimentelle Bestimmung der Diffusion und Absorption von Wasserstoff im Quarz.

I. Diffusion.

Die Diffusionsversuche sollten die zur Berechnung des Diffusionskoeffizienten nötige Bestimmung der Größe

$M = -q\int_0^t k\left(\frac{\partial \varrho}{\partial x}\right)_{x=o} dt$ ergeben. Da $k = k(\alpha, M, \vartheta, t, q, [l])$ ist, so könnte ich dann unter der Vorraussetzung, daß mir die Messung des Absorptionskoeffizienten noch gelänge, k auswerten.

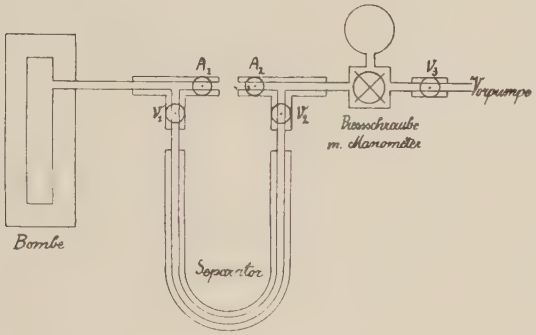
Zur Bestimmung von M wollte ich mit Wasserstoff gefüllte Quarzgefäße bei hoher Temperatur und hohem Druck in der Bombe lassen, und durch Sinken des Quecksilbers, das als Absperrflüssigkeit des Gases diente, die diffundierende Gasmenge M ausrechnen. Bei der experimentellen Ausführung solcher Diffusionsversuche zeigten sich nun aber große Schwierigkeiten. Nach dem Herausnehmen der Quarzgefäße aus der Bombe war bei den ersten Versuchen meist überhaupt kein Gas mehr drin. In den meisten Fällen war das Gas durch Druckschwankungen herausgeworfen, und Wasser und Quecksilber füllten das Gefäß aus. Gegen fünfzig solche ganz wertlose Versuche stellte ich an, wobei ich bald an der Schaltung der Druckzuführung, bald an der Konstruktion der Quarzgefäße Änderungen traf. Wie ich später erkannte, war an dem Mißlingen der meisten Versuche die fehlerhafte Druckschaltung des Separators schuld. Das Schwanken seiner Quecksilbermasse beim Druckablassen verursachte durch „Unterdruck"-erzeugung des Gases im Quarzgefäß das Herauswerfen. Aber es kostete mir auch viel Mühe, bis ich die richtige Konstruktion der Quarzgefäße herausfand. Die Verwickelung nun der Schwierigkeiten der Bombenschaltung, der Konstruktion der Quarzgefäße und der Versuchsanstellung hatte die vielen anfänglichen Mißerfolge zur Folge.

Beschreibung
der Druckapparate und der Versuchsanstellung.

Die Druckleitung führt mit Öl als Druckflüssigkeit von der Vorpumpe, über die Preßschraube mit Manometer und über ein T-Stück mit zwei Absperrventilen zum Quecksilber des Separators, weiter von der Wasserseite des Separators

mit Wasser als Druckflüssigkeit über ein T-Stück mit zwei Absperrventilen zur Bombe.

Figur 1.



Ein Versuch geht nun folgendermaßen vor sich: Die Bombe wird zunächst genügend mit aqua destillata gefüllt. Bei geschlossenem A_1, geöffnetem V_1, geöffnetem V_2 wird A_2 geöffnet, damit sich das Quecksilber im Separator ausgleichen kann. Ohne Beachtung dieser Vorsichtsmaßregel können wir beim Nachdrücken mit der Preßschraube unter Umständen Quecksilber in die Bombe bekommen, das den vielen Lötstellen in der Bombe sehr gefährlich ist und den ganzen Apparat zerstören kann. Nach Schließung von A_2 wird die Bombe dann wieder fast ganz leer gemacht, damit man den ziemlich schweren Verschlußkopf mit Ofen und dem daran befestigten Quarzgefäß sicher, ohne anzustoßen, hineinsetzen kann. Dann wird die Bombe wieder mit Wasser gefüllt und der gutgequollene Verschlußkopf bei geöffnetem A_1 ganz langsam in die Bombe eingedrückt. Wir schließen A_1 und drücken mit der Vorpumpe auf 700 Atm. an. Den gewünschten höheren Druck können wir bei geschlossenem V_3 mit der Preßschraube erzeugen. Wir stellen dann die Kühlung an, verbinden das

Thermoelement mit dem Pyrometer, legen den Heizanschluß an und beginnen in langsamen Anstieg, um den Platinofen nicht zu sehr zu stauchen, auf die Temperatur, die wir uns vorgenommen haben, zu heizen. Nach Beendigung des Versuches lassen wir den Druck nach Schließung von V_1 mittels tropfenweisen Wasseraustritts durch das Ventil A_1 behutsam ab. Das Ablassen des Druckes für sich auf der Wasserseite ist bei Gasen unbedingt erforderlich. Läßt man den Druck bei offenem V_1 durch A_1 ab, so werfen die entstehenden Druckschwankungen das Gas mit dem Quecksilber aus dem Quarzgefäß heraus. In Vorbereitung auf einen weiteren Versuch läßt man dann den gesamten Druckapparat bei geschlossenem A_1 und geöffneten V_1, V_2, A_2 sich wieder ausgleichen.

Das Einrichten dieser Druckanordnung nach dem Auseinandernehmen und Vernickeln der Bombe bereitete ziemlich viel Schwierigkeiten und kostete bald zwei Monate angestrengter Arbeit. Während der Versuche blieb dann die ganze Versuchsanordnung bis auf einige kleine Defekte vorzüglich in Betrieb. Trotz der vielen Verschraubungen und Verbindungsstücke hielt der ganze Druckapparat einen Druck von 1000 Atm. völlig konstant. Für die Diffusionsversuche war dieses absolut Dichthalten des Apparates auch unbedingt nötig. Denn wird die Versuchsanordnung an irgend einer Stelle nur merklich undicht, so treten als Folgeerscheinungen der Quecksilbermasse im Separator sofort wieder Druckschwankungen auf, die das Gas aus den Quarzgefäßen herauswerfen. So bekam ich trotz richtiger Versuchsansstellung und richtiger Konstruktion der Diffusionsgefäße bald vierzehn Tage wieder solche Mißerfolge wie früher, bis ich die richtige Ursache in einer durch Materialfehler gar nicht so bedeutend undicht gewordenen Schraube am Separator aufklärte. Sehr gut be-

währte sich die Leder-Vulkanfiber-Dichtung, die ihrer Aufgabe trotz der starken Inanspruchnahme von 211 Diffusions- und Absorptionsversuchen in vollkommener Weise gerecht wurde. Als Öfen erwiesen sich bedeutend haltbarer als Nickelöfen Platinöfen, die nicht so sehr durch Verstauchungen bei Temperaturschwankungen mitgenommen werden. Die Platinöfen werden auch weit weniger, als man annehmen könnte, vom Quecksilber zerfressen. Der erste Platinofen, der durch häufiges Springen der Versuchsgefäße auch bei hoher Temperatur mit Quecksilber in Berührung gekommen war, ergab, zu einem neuen Platinofen eingeschmolzen, nur einen Verlust von 0,5 g Platin.

Vorversuche über Diffusion.

I. Teil.

Die ersten erfolgreichen Diffusionsversuche zur Bestimmung der eindiffundierenden Wasserstoffmenge

$$M = -q\int_{o}^{t} k\left(\frac{\partial \varrho}{\partial x}\right)_{x=o} dt$$

wurden mit Quarzgefäßen mit Quecksilberschutzhaube (s. S. 9) angestellt. Als Diffusionswände wurden dabei noch Quarzspitzen verwandt. Im übrigen wichen die Gefäße nicht viel von den Diffusionsgefäßen mit dünnen Kugeln (Figur 3. S. 21) ab, die ich zur experimentellen Bestimmung des Diffusionskoeffizienten verwenden konnte. Um den Einfluß der Wandstärke (l) auf die eindiffundierende Menge (M) festzustellen, wurden 0,05 cm und 0,20 cm wandstarke Spitzen an die Quarzgefäße angeblasen. Zur Kontrolle machte ich bei 600° 750 Atm. 15 Min. elf Versuche, deren Ergebnisse untereinander eine sehr gute Übereinstimmung zeigten.

Die Wandstärke übte aber noch keinen meßbaren Einfluß aus. Durch die 0,05 cm wie 0,20 cm wandstarke Spitze diffundierte immer die ziemlich gleiche Wasserstoffmenge. $M = 0{,}032\ cm^3$ (600° 750 Atm. 15 Min. $q \doteq 0{,}06\ cm^2$). Ich zog daraus den Schluß, daß die 0,05 cm wandstarke Spitze, erst recht die 0,20 cm wandstarke unter den gegebenen Versuchsbedingungen vom diffundierenden Wasserstoff noch nicht durchdrungen war, daß wir also bei beiden Wandstärken noch im Falle der unendlichlangen Diffusionswand waren. Unter Vorausnahme der Kenntnis des Diffusionskoeffizienten, dessen Bestimmung mir später gelang, kann ich das auch mathematisch zeigen. M (für die durch zwei parallele Ebenen im Abstande l begrenzte Diffusionswand) muß recht wenig von M (für die unendlichlange Diffusionswand) abweichen. Das heißt $\frac{\pi^2 kt}{l^2} = z$ muß klein sein. $z = 4$ hat erst eine Abweichung der beiden Werte für M um 2 % zur Folge (s. S. 13, Anm.).

Unter den gegebenen Bedingungen wird nun in der Tat $\frac{\pi^2 kt}{l^2}$ genügend klein.

1. $l = 0{,}05$ cm
   $t = 900$ sec
   $k_{600} = 0{,}000\ 001_7 \frac{cm^2}{sec}$
   $\frac{\pi^2 kt}{l^2} = 6{,}0$
2. $l = 0{,}20$ cm
   $t = 900$ sec
   $k_{600} = 0{,}000\ 001_7 \frac{cm^2}{sec}$
   $\frac{\pi^2 kt}{l^2} = 0{,}38$

} also genügend klein.

II. Teil.

War mir im I. Teil der Vorversuche gelungen, die Gasmenge $M = -q\int_0^t \left(\frac{\partial \varrho}{\partial x}\right)_{x=0} dt$, die an der Trennungsebene von

Gas und Quarz in der Zeit t aufgenommen wird, so erstrebte ich noch, um den Diffusionskoeffizienten aus zwei auf verschiedenem Wege gewonnenen Versuchsdaten berechnen zu können, bei den folgenden Versuchen die Messung von

$$M = -q\int_0^t k\left(\frac{\partial \varrho}{\partial x}\right)_{x=l} dt$$

der Gasmenge, die in der Zeit t nach vollendeter Diffusion aus dem Quarz austritt.

Figur 2.

a) Figur 2 zeigt ein Gefäß zur Bestimmung von

$$M = -q\int_0^t k\left(\frac{\partial \varrho}{\partial x}\right)_{x=l} dt$$

Die durch Diffusion durch die Quarzspitze von R_1 nach R_2 gelangte Gasmenge sollte durch eine chemische Reaktion in R_2 quantitativ gemessen werden. Wegen der hohen Temperatur konnte als chemisches Reagenz nur Nickeloxyd in Betracht kommen, das durch den diffundierten Wasserstoff reduziert werden sollte. Das Nikeloxyd reagierte nun aber leider so stark mit dem Quarz der Haube, daß die Versuche aufgegeben werden mußten.

b) Da mir die Bestimmung der durchdiffundierten Gasmenge sehr wesentlich schien, versuchte ich noch auf eine zweite Methode, zum Ziele zu kommen. Über die Quarzspitze eines Diffusionsgefäßes stülpte ich eine mit Quecksilber gefüllte Nickelhaube, unter der sich der diffundierte Wasserstoff ansammeln sollte. Nach dem Versuche in der Bombe wurde dann das ganze Quarzgefäß mit Nickelhaube in eine Quecksilberwanne gebracht, die Nickelhaube wurde vom Quarzgefäß abgenommen, umgedreht, und die unter der Nickelhaube etwa befindliche Gasblase sollte unter Quecksilber aufgefangen und

in einer kleinen Heberpipette gemessen werden. Auch diese Versuche waren erfolglos infolge der chemischen Einwirkung von Ni, SiO_2 und Hg. — Bei der hohen Temperatur entstand immer unter der Nickelhaube eine Gasblase, auch wenn die Quarzgefäße mit Quecksilber gefüllt waren.

Diffusionsversuche und Berechnung des Diffusionskoeffizienten.

Wie die Vorversuche ergeben hatten, mußte ich mich also darauf beschränken, die eindiffundierende Menge

$$M = -q \int_0^t k \left(\frac{\partial \varrho}{\partial x}\right)_{x=0} dt$$

zu messen, um daraus den Diffusionskoeffizienten auszuwerten. Zur Messung von M bei variabler Temperatur erwies sich nun eine starke Diffusionswand als unbrauchbar.

Das zeigen folgende Versuche:

1. Versuch: Mit einem neuen Quarzgefäß mit 0,2 cm starker Diffusionswand wurde ein Diffusionsversuch bei 800° 850 Atm. 5 Min. angestellt.

$$M_{800^\circ} = 0{,}026 \text{ cm}^3.$$

Unmittelbar darauf wurde ein

2. Versuch bei 900° 850 Atm. 5 Min. gemacht.

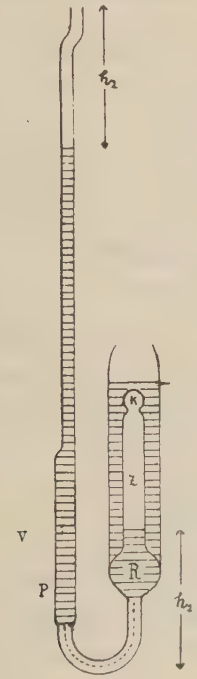
$$M_{900^\circ} = 0{,}022 \text{ cm}^3.$$

Trotz des starken Wachstums des Diffusionskoeffizienten mit der Temperatur ist M bei 900° sogar kleiner als M bei 800°. Der scheinbare Fehler erklärt sich dadurch, daß die Quarzwand bei 800° völlig frisch, bei dem Diffusionsversuch bei 900° aber schon zum Teil mit Wasserstoff durch den vorhergehenden Versuch gesättigt war. Dieselbe Erscheinung zeigte sich auch bei vier unmittelbar aufeinanderfolgenden Versuchen bei 600° mit einem Diffusionsgefäß mit 0,2 cm wandstarker Spitze:

1. Versuch frischer Quarz 600° 850 Atm. 5 Min. M = 0,016 cm^3
2. Versuch unmittelb. darauf 600° 850 Atm. 5 Min. M = $0{,}008_6$ cm^3
3. Versuch „ „ 600° 850 Atm. 5 Min. M = $0{,}008_1$ cm^3
4. Versuch „ „ 600° 850 Atm. 5 Min. M = $0{,}006_9$ cm^3.

Um ganz einwandfreie Diffusionsversuche anzustellen, hätte ich also für jeden Versuch neue Quarzwände benutzen müssen. Das wäre aber sehr teuer gekommen, da der größte Teil der starken Quarzhaube dann jedesmal verloren gegangen wäre. Ich fand einen Ausweg in der Anwendung von sehr dünnen Diffusionswänden und erzielte damit einmal größere Effekte, dann erreichte ich aber auch den Vorteil, daß die Absorption der sehr dünnen Wand, an und für sich schon nicht beträchtlich, gegenüber diesen größeren diffundierenden Mengen erst recht wenig ins Gewicht fiel.

Diffusionsgefäß
$^1/_2$ nat. Größe (Fig. 3).



Die Quecksilberschutzhaube, mit der die Diffusionsgefäße bei den Vorversuchen (I. Teil) mehr zur Sicherheit ausgestattet waren, wurde für die Diffusionsgefäße mit dünnen Wänden unentbehrlich. Ohne die Schutzhaube wären die Versuche in dieser Form unmöglich gewesen.

Beschreibung der Diffusionsgefäße mit dünnen Wänden.

(Figur 3.)

Die dünnen Diffusionswände ließen sich nur in Form von Kugelschalen an die Quarzgefäße anbringen. In einem guten Sauerstoff-Wasserstoff-Schweißbrenner lassen sich Kugeln aus Quarz mit einer Wandstärke unter 0,01 cm bei einem Durchmesser von 0,6 cm ganz gut blasen. Wegen der grossen Zähigkeit des

flüssigen Quarzes werden die Kugeln allerdings sehr ungleichmäßig in der Wandstärke. Sie sind eigentlich nur an der höchsten Stelle sehr dünn, die aber gerade als Diffusionsquerschnitt in Betracht kommt, da das Gas, das bei 1 Atm. den Zylinder z und die Kugel k ausfüllt, bei 800 Atm. nur auf ein kleines Kugelsegment zusammengedrückt wird. An den Zylinder z mit der Kugel k (siehe Fig. 3) schließt sich ein weiterer kugelförmiger Raum R an, der zur Aufnahme von Quecksilber bestimmt ist. Dieser läuft in einen feinen (0,01 cm), aber wandstarken Kapillarbogen aus, an den sich erst ein etwas weiteres Rohr (v) und die Meßkapillare (0,125 cm innen) anschließt. Der kugelförmige Raum R ist nur dazu da, um etwaige Versuchsfehler sofort entscheiden zu können. Treten in der Bombe beim Ablassen des Druckes trotz aller Vorsichtsmaßregeln doch noch Druckschwankungen auf, die das Gas herauswerfen, so muß erst alles Quecksilber des Vorraumes R herausgeworfen werden. Das leicht wahrnehmbare Fehlen der so großen Quecksilbermasse würde also deutlich einen Versuchsfehler anzeigen. — Das weitere Rohr v auf dem freien Schenkel ist zum Gelingen des Diffusionversuches ebenfalls nötig. Das zum Diffundieren bestimmte Gas wird während des Versuches in der Bombe stark zusammengedrückt. Vermöge des Quecksilbervorrats v auf dem freien Schenkel sinkt das Quecksilber nur bis zum Punkte P (siehe Fig. 3) und das nachdringende Wasser bleibt immer oberhalb des Quecksilbers.

Füllung der Diffusionsgefäße mit Wasserstoff.

Wegen der leichten Zerbrechlichkeit der Kugeln konnten diese Diffusionsgefäße nicht mit aqua destillata ausgespült werden. Sie wurden nur unter langem Erwärmen bei

Absaugen mit der Wasserstrahlpumpe gut getrocknet. Ein so vorbereitetes Gefäß kommt dann an den einen Zweig eines T-Stückes mit zwei Hähnen, die die Verbindung mit der Ölluftpumpe und einer Wasserstoffbombe herstellen, wird evacuiert und mit Wasserstoff gefüllt. In einer Quecksilberwanne wird der offene Schenkel des Quarzgefäßes vom Druckschlauch getrennt. Durch starkes Erhitzen der Quarzhaube mit einem großen Têclubrenner wird aus dem Zylinder z soviel wie möglich Gas ausgetrieben, und Quecksilber nachgesogen. Unter Absperrung des offenen Schenkels mit dem Finger wird das Gefäß aus dem Quecksilber genommen und umgedreht. Allmählich wird nun noch mehr Gas ausgetrieben, bis nur der Zylinder z von Wasserstoff erfüllt ist. Die Quecksilberhaube wird mit Quecksilber unter Berücksichtigung der Ausdehnung bei 1000° knapp gefüllt. Das Quarzgefäß kommt schließlich noch in ein Wasserbad von Zimmertemperatur, worauf die Quecksilberstände in Form von h_1, h_2 (siehe Fig. 3, S. 21) aufgemerkt werden, und das Gefäß ist fertig zum Versuch in der Bombe.

Versuchsergebnisse der Diffusionsversuche.

1. $M = -q \int_0^t k \left(\frac{\partial \varrho}{\partial x}\right)_{x=0} dt$ **als Funktion der Tempertur.**

Zu den ersten Diffusionsversuchen verwandte ich die Quarzkugeln so dünn, wie sie überhaupt geblasen werden konnten. Unter dem Mikroskop wurde die Wandstärke der dünnsten Stelle der Kugel, die als Diffusionsquerschnitt gerade in Betracht kam, zu 0,0054 cm bestimmt.

Bei solchen dünnen Diffusionswänden fand ein Einfluß der Absorption durch einen Diffusionsversuch auf einen fol-

genden, wie bei den 0,05 cm und 0,20 cm wandstarken Spitzen, (s. S. 20) bei 900° gar nicht, bei 600° in geringem Maße statt.

Das beweist die gute Übereinstimmung der Werte für M bei drei aufeinanderfolgenden Versuchen:

1. 900° 900 Atm. 5 Min. $M = 0{,}082_8$ cm³
   900° 900 Atm. 5 Min. $M = 0{,}081_9$ cm³
   900° 900 Atm. 5 Min. $M = 0{,}085_2$ cm³
2. 600° 800 Atm. 5 Min. $M = 0{,}019_2$ cm³
   600° 825 Atm. 5 Min. $M = 0{,}016_9$ cm³
   600° 825 Atm. 5 Min. $M = 0{,}013_7$ cm³

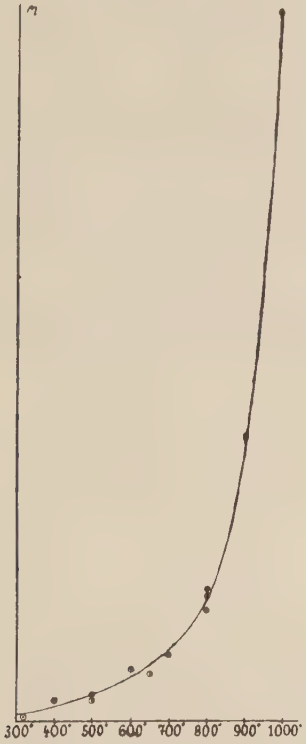
Zur Feststellung der Funktion M = M (Temperatur) konnte ich jetzt daran gehen mit ein und demselben Gefäße eine Versuchsreihe von Diffusionversuchen bei variabler Temperatur und konstantem Druck aufzustellen. Dies glückte mir nicht gleich mit den ganz dünnen Kugeln, die immer nur sechs Versuche höchstens glücklich überstanden. Mit etwas wandstärkeren Kugeln gelangen mir jedoch vorzüglich zwei Versuchsreihen für M = M (Temperatur).

I. Versuchsreihe (l = 0,018 cm).

$I_{,1}$	600°	850 Atm.	5 Min.	M	$0{,}013_6$ cm³
$I_{,2}$	700°	860 Atm.	5 Min.	M	$0{,}017_0$ cm³
$I_{,3}$	800°	925 Atm.	5 Min.	M	$0{,}032_6$ cm³
$I_{,4}$	900°	875 Atm.	5 Min.	M	$0{,}075_3$ cm³
$I_{,5}$	500°	860 Atm.	5 Min.	M	$0{,}007_2$ cm³
$I_{,6}$	1000°	860 Atm.	5 Min.	M	$0{,}187_7$ cm³
$I_{,7}$	800°	900 Atm.	5 Min.	M	$0{,}034_7$ cm³
$I_{,8}$	500°	850 Atm.	5 Min.	M	$0{,}005_4$ cm³
$I_{,9}$	800°	875 Atm.	5 Min.	M	$0{,}029_1$ cm³
$I_{,10}$	400°	850 Atm.	5 Min.	M	$0{,}005_4$ cm³
$I_{,11}$	320°	825 Atm.	5 Min.	M	$0{,}001_2$ cm³
$I_{,12}$	650°	850 Atm.	5 Min.	M	$0{,}012_2$ cm³

M = M (Temperatur), l = 0,018 cm, p = 850 Atm.

(Figur 4.)



II. Versuchsreihe ($l = 0{,}014_5$ cm).

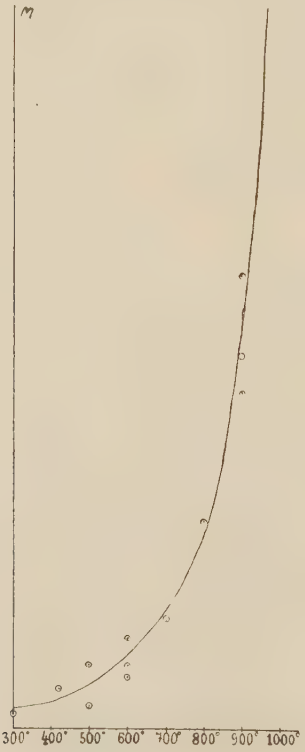
$II_{,1}$	500°	850 Atm.	5 Min.	M	$0{,}016_3$	cm³
$II_{,2}$	600°	850 Atm.	5 Min.	M	$0{,}023_1$	cm³
$II_{,3}$	700°	850 Atm.	5 Min.	M	$0{,}028_4$	cm³
$II_{,4}$	800°	900 Atm.	5 Min.	M	$0{,}053_4$	cm³
$II_{,5}$	900°	850 Atm.	5 Min.	M	$0{,}087_8$	cm³
$II_{,6}$	1000°	875 Atm.	5 Min.	M	$0{,}237_5$	cm³
$II_{,7}$	900°	875 Atm.	5 Min.	M	$0{,}097_6$	cm³

II_{8}	420°	900 Atm.	5 Min.	M	0,0104	cm^3
II_{9}	300°	875 Atm.	5 Min.	M	$0,0045_5$	cm^3
II_{10}	600°	850 Atm.	5 Min.	M	$0,015_7$	cm^3
II_{11}	500°	800 Atm.	5 Min.	M	$0,005_9$	cm^3
II_{13}	900°	850 Atm.	5 Min.	M	$0,119_2$	cm^3
II_{14}	600°	850 Atm.	5 Min.	M	$0,013_3$	cm^3

Anmerkung: Noch günstiger gestaltet sich die Übereinstimmung der Werte für M, wenn man die auf S. 28—31 dazugehörigen Diffusionsquerschnitte in Betracht zieht.

$M = M$ (Temperatur), $l = 0,014_5$ cm, $p = 850$ Atm.

(Figur 5.)



Zusammenfassung:

$M_T = M(k_T, \alpha_T)$ zeigt bei der Diffusion von Wasserstoff im Quarz als Funktion der Temperatur exponentiales Wachstum.

2. Berechnung des Diffusionskoeffizienten k aus $M_T = M(\alpha_T, k_T)$.

Zur Berechnung von k_T aus $M_T = M(p\,t\,q\,l\,\alpha_T\,k_T)$ sind jetzt alle nötigen Größen bis auf α_T, das aber durch meine Absorptionsversuche ausgewertet wird, bekannt.

1. M_T, gemessen durch die Diffusionsversuche.
2. p Druck
3. t Zeit

} bekannt als Versuchsbedingungen.

4. l Wandstärke, gemessen unter dem Mikroskop.
5. α_T Absorptionskoeffizient bei der Temperatur T, gemessen durch Absorptionsversuche.
6. q Diffusionsquerschnitt.

Anmerkung: Zur Berechnung von q wurde das Quarzgefäß nach Beendigung einer Versuchsreihe zerschnitten, und das Volumen von z (Zylinder) und k (Kugel) durch Auswiegen mit Quecksilber bestimmt. Da ich mir immer den Quecksilberstand h_1 aufgemerkt hatte, so konnte ich ziemlich sicher die vor jedem Diffusionsversuche im Gefäß befindliche Gasmenge v_0 angeben.

Dann ist $v(p, T) = \frac{v_0}{p}\left(1 + \frac{T - 17}{273}\right)$ T Temperatur.

$v = \frac{1}{3}\pi h^2 (3r - h)$ liefert dann die Höhe h des Kugelsegmentes.

$2\pi r h = q$ Diffusionsquerschnitt.

Anmerkung: Bei Diffusionsversuchen mit großem M_T wurde ein Mittelwert für q verwendet, um in Rechnung zu setzen, daß durch die aus dem Gefäß ausdiffundierte Gasmenge

eine Abnahme des Diffusionsquerschnittes der zur Diffusion bestimmten, im Gefäß abgeschlossenen Gasmenge bedingt ist.

Nach (9) S. 13 ist die eindiffundierende Gasmenge für endliche Wandstärke (l)

$$(10)\quad M = q\frac{akt}{l} + q\frac{2al}{\pi^2}\left(\frac{\pi^2}{6} - \frac{1}{1^2}e^{-\frac{1^2\pi^2 kt}{l^2}} - \frac{1}{2^2}e^{-\frac{2^2\pi^2 kt}{l^2}} - \ldots\right)$$

für großes $z = \frac{\pi^2 kt}{l^2}$ kann man angenähert

$$(11)\quad M \doteq q\frac{akt}{l} + q\frac{2al}{6} \text{ setzen.}$$

In vorliegendem Falle ist $z = \frac{\pi^2 t}{l^2} k_{600} \doteq 18$ | $z = \frac{\pi^2 t}{l^2} k_{900} \doteq 77$ | also genügend groß.

Dann ergibt sich aus (11) für

den Diffusionskoeffizienten $k_T = \left(M_T - q\frac{\alpha_T p l}{3}\right) \cdot \frac{l}{q\alpha_T p t}$

q Diffusionsquerschnitt.
α_T Absorptionskoeffizient.
p Druck.
l Wandstärke.
t Zeit.
T Temperatur.

Übersicht über die erste Versuchsreihe mit Berechnung der Diffusionskoeffizienten.

$l = 0{,}018_2$ cm; innerer Kugelradius $= 0{,}26_1$ cm

I_{11} 600° 850 Atm. 5 Min. $M = 0{,}013_6$ cm³

$v_0 = 0{,}240$ cm³
$v\,(600°, 850\text{ Atm.}) = 0{,}000\,902$ cm³ $= \frac{1}{3}\pi h^2 (3r - h)$
$h = 0{,}034$ cm
$q = 0{,}056$ cm²

$k_{600} = 0{,}000\,001_7 \frac{\text{cm}^2}{\text{sec}}$

$I_{,2}$ 700° 860 Atm. 5 Min. $M = 0{,}017$ cm³

q interpoliert aus $I_{,1}$ und $I_{,3} = 0{,}055$ $k_{700} = 0{,}000\,001_8 \frac{cm^2}{sec}$

$I_{,3}$ 800° 925 Atm. 5 Min. $M = 0{,}032_6$ cm³

$v_0 = 0{,}209$ cm³
v (800°, 925 Atm.) = 0,000 875 cm³
h = 0,033 cm
q = 0,055 cm² $k_{800} = 0{,}000\,003_2 \frac{cm^2}{sec}$

$I_{,4}$ 900° 875 Atm. 5 Min. $M = 0{,}075_8$ cm³

$v_0 = 0{,}177$ cm³
v (900°, 875 Atm.) = 0,000 855 cm³
h = 0,033 cm
q = 0,054 cm² $k_{900} = 0{,}000\,007_7 \frac{cm^2}{sec}$

$I_{,5}$ 500° 860 Atm. 5 Min. $M = 0{,}007_2$ cm³

$v_0 = 0{,}263$ cm³
v (500°, 860 Atm.) = 0,000 848 cm³
h = 0,033 cm
q = 0,054 cm² $k_{500} = 0{,}000\,001_0 \frac{cm^2}{sec}$

$I_{,6}$ 1000° 860 Atm. 5 Min. $M = 0{,}187_7$ cm³

$v_0 = 0{,}171$ cm³
v (1000°, 860 Atm.) = 0,000 915 cm³
h = 0,034 cm
q = 0,056 cm² $k_{1000} = 0{,}000\,012_8 \frac{cm^2}{sec}$
($\alpha_{1000} = 0{,}018$ interpoliert)

$I_{,7}$ 800° 900 Atm. 5 Min. $M = 0{,}034_7$ cm³

$v_0 = 0{,}260$ cm³
v (800°, 900 Atm.) = 0,001 116 cm³
h = 0,038 cm
q = 0,062 cm² $k_{800} = 0{,}000\,003_1 \frac{cm^2}{sec}$

$I_{,10}$ 400° 850 Atm. 5 Min. $M = 0{,}005_4$ cm³

$v_0 = 0{,}224$ cm³
v (400°, 850 Atm.) = 0,000 634 cm³
h = 0,028 cm
q = 0,046 cm² $k_{400} = 0{,}000\,001_1 \frac{cm^2}{sec}$

$I_{,11}$ 300° 830 Atm. 5 Min. $M = 0{,}001_2$ cm³

$v_0 = 0{,}219$ cm³
v (300°, 830 Atm.) = 0,000560 cm³
h = 0,027 cm
q = 0,044 cm²

$k_{300} = 0{,}000\ldots$ fällt zu klein aus; besser $II_{,10}$

Übersicht über die zweite Versuchsreihe mit Berechnung der Diffusionskoeffizienten.

l = 0,0145 cm; innerer Kugelradius = $0{,}25_4$ cm

$II_{,1}$ 500° 850 Atm. 5 Min. $M = 0{,}016_3$ cm³

$v_0 = 0{,}318$ cm³
v (500°, 850 Atm.) = 0,00104 cm³
h = 0,037 cm
q = 0,059 cm²

$k_{500} = 0{,}000\,002_1 \frac{cm^2}{sec}$

$II_{,2}$ 600° 850 Atm. 5 Min. $M = 0{,}023_1$ cm³

q (aus $II_{,1}$ und $II_{,3}$) = 0,0606 cm²

$k_{600} = 0{,}000\,002_4 \frac{cm^2}{sec}$

$II_{,3}$ 700° 850 Atm. 5 Min. $M = 0{,}028_4$ cm³

$v_0 = 0{,}279$ cm³
v (700°, 850 Atm.) = 0,00115 cm³
h = 0,039 cm
q = 0,062 cm³

$k_{700} = 0{,}000\,002_4 \frac{cm^2}{sec}$

$II_{,4}$ 800° 900 Atm. 5 Min. $M = 0{,}054$ cm³

$v_0 = 0{,}251$ cm³
v (800°, 900 Atm.) = 0,00108 cm³
h = 0,038 cm
q = 0,060 cm

$k_{800} = 0{,}000\,004_2 \frac{cm^2}{sec}$

$II_{,5}$ 900° 850 Atm. 5 Min. $M = 0{,}087_8$ cm³

$v_0 = 0{,}193$ cm³
v (900°, 850 Atm.) = 0,000964 cm³
h = 0,036 cm
q = 0,057 cm²

$k_{9000} = 0{,}000007_1 \frac{cm^2}{sec}$

$II_{,6}$ 1000° 875 Atm. 5 Min. $M = 0{,}237_5$ cm³

$v_0 = 0{,}273$ cm³
v (1000°, 875 Atm.) = 0,00143 cm³
h = 0,044 cm
q = 0,070 cm²

$k_{10000} = 0{,}000010_8 \frac{cm^2}{sec}$
($\alpha_{1000} = 0{,}018$ interpoliert)

$II_{,7}$ 900° 875 Atm. 5 Min. $M = 0{,}097_6$ cm³

$v_0 = 0{,}208$ cm³
v (900°, 875 Atm.) = 0,00101 cm³
h = 0,036 cm
q = 0,058 cm²

$k_{9000} = 0{,}000007_6 \frac{cm^2}{sec}$

$II_{,8}$ 400° 900 Atm. 5 Min. $M = 0{,}0104$ cm³

$v_0 = 0{,}324$ cm³
v (400°, 900 Atm.) = 0,00089 cm³
h = 0,034 cm
q = 0,055 cm²

$k_{4000} = 0{,}000001_6 \frac{cm^2}{sec}$

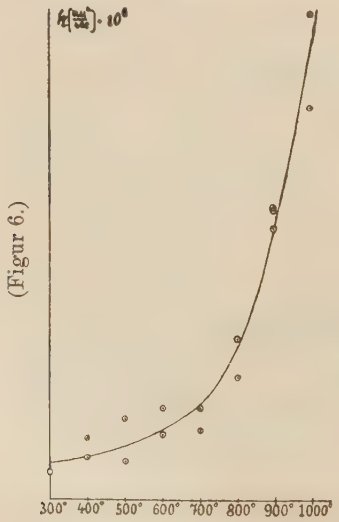
$II_{,9}$ 300° 875 Atm. 5 Min. $M = 0{,}0045_5$ cm³

$v_0 = 0{,}296$ cm³
v (300° 875 Atm.) = 0,000689 cm³
h = 0,030 cm
q = 0,048 cm²

$k_{3000} = 0{,}000000_{73} \frac{cm^2}{sec}$

Diffusionskoeffizienten.

	aus der ersten Versuchsreihe berechnet	aus der zweiten Versuchsreihe berechnet	
300°		$0{,}000000_{73}\frac{cm^2}{sec}$	
400°	$0{,}000001_{1}\frac{cm^2}{sec}$	$0{,}000001_{6}\frac{cm^2}{sec}$	
500°	$0{,}000001_{0}\frac{cm^2}{sec}$	$0{,}000002_{1}\frac{cm^2}{sec}$	
600°	$0{,}000001_{7}\frac{cm^2}{sec}$	$0{,}000002_{4}\frac{cm^2}{sec}$	
700°	$0{,}000001_{8}\frac{cm^2}{sec}$	$0{,}000002_{4}\frac{cm^2}{sec}$	
800°	$0{,}000003_{2}\frac{cm^2}{sec}$	$0{,}000004_{2}\frac{cm^2}{sec}$	
900°	$0{,}000007_{7}\frac{cm^2}{sec}$	$0{,}000007_{6}\frac{cm^2}{sec}$	$0{,}000007_{1}\frac{cm^2}{sec}$
1000°	$0{,}000012_{8}\frac{cm^2}{sec}$	$0{,}000010_{3}\frac{cm^2}{sec}$	



(Figur 6.)

k = k (Temperatur)
aus beiden Versuchsreihen.

Zusammenfassung:

Die Abhängigkeit des Diffusionskoeffizienten k von der Temperatur für die Diffusion von Wasserstoff im Quarz zeigt exponentialähnlichen Charakter.

Um den Grad des Diffusionsvermögens von Wasserstoff im Quarz im Vergleich mit anderen Diffusionsvorgängen beurteilen zu können, seien einige Stoffpaare mit Diffusionskoeffizienten in nahezu gleicher Größenordnung angeführt.

Diffusion[1]) in 20%iger Gelatine. Temperatur 14°, 15°.

	CO_2	N_2O	H
k	$0{,}000009_{78}\frac{cm^2}{sec}$	$0{,}000007_{34}\frac{cm^2}{sec}$	$0{,}000034_{1}\frac{cm^2}{sec}$

Diffusion[2]) in Wasser. Temperatur 16°.

	CO_2	N	O
k	$0{,}000015_{9}\frac{cm^2}{sec}$	$0{,}000020_{0}\frac{cm^2}{sec}$	$0{,}000018_{7}\frac{cm^2}{sec}$
	N_2O	Cl	
k	$0{,}000015_{6}\frac{cm^2}{sec}$	$0{,}000012_{7}\frac{cm^2}{sec}$	

[1]) A. Hagenbach, Wied. Ann. 65. 673. 1898.

[2]) G. Hüfner. Wied. Ann. 60. 134. 1897. Ztschr. f. phys. Chemie 27. 227. 1898.

3. Diffusionsversuche bei variablem Druck.

Die Bestätigung der Gültigkeit des Henryschen Gesetzes, das bei der Berechnung des Diffusionskoeffizienten vorausgesetzt wurde, mußte ich noch durch Diffusionsversuche bei variablem Druck erbringen.

1. Versuch 600° 400 Atm. 10 Min. $M = 0{,}042$ cm³
2. Versuch 600° 1000 Atm. 10 Min. $M = 0{,}049$ cm³

Die zwei Versuche bei 400 Atm. und 1000 Atm. zeigen einen angenähert konstanten Wert für M und beweisen dadurch mittelbar die Gültigkeit des Henryschen Gesetzes. Denn da wegen der Kompressibilität des Gasvorrates im Gefäß $p \cdot q \doteq$ const. ist, so wird, wenn M proportional p ist (Henrysches Gesetz) $M = \text{const.} \cdot p \cdot q = \textbf{const.}$

Da ich Diffusionsversuche bei ganz niedrigen Drucken nicht in der Bombe anstellen konnte, so vervollständigte ich die Untersuchungen noch durch Versuche außerhalb der Bombe bei 3 Atm. in einem Nickelofen.

Die Gültigkeit des Henryschen Gesetzes muß sich dann an der Übereinstimmung des aus den Versuchen in der Bombe (1000° 850 Atm) mit dem aus den Diffusionsversuchen außerhalb der Bombe (1000° 3 Atm.) berechneten Diffusionskoeffizienten zeigen.

Diffusionsversuche bei 1000° und 3 Atm.

1. Quarzglas-Glas-Diffusionsapparat.

Die Diffusionsgefäße zeigen große Ähnlichkeit mit den Gefäßen für Versuche in der Bombe mit dünnen Kugeln. Wegen der Einfachheit der Konstruktion, da alle Gefäßteile, die wegen des Einflußes des hohen Druckes an den Diffusions-

gefäßen für die Versuche in der Bombe angebracht werden mußten, hier einfach wegfallen konnten, war gleich die erste Bauart erfolgreich.

Als Diffusionswand wird eine Kugelschale (0,8 cm äußerer Durchmesser) verwendet, deren dünnste Stelle eine Wandstärke von 0,02 cm maß. An die Kugel schließt sich ein etwas weiterer Zylinder (zum Schutze der dünnen Kugel gegen seitlichen Stoß) und ein Kapillarbogen an, der die Verbindung mit dem freien Schenkel, der am Ende mit einem Mutterkonusschliff versehen ist, herstellt. Ein dazu passender Glasschliff bildet den Abschluß einer 125 cm langen Glas-Meßkapillare (innerer Durchmesser = 0,11 cm), die in einen weiteren Zylinder ausläuft.

2. Füllung mit Wasserstoff.

Das Quarzgefäß wird evacuiert, mit Wasserstoff gefüllt und in der üblichen Weise mit Quecksilber abgesperrt, so daß der Wasserstoff bei 1 Atm. knapp die Quarzkugel füllt. In den Schliff des so gefüllten Quarzdiffusionsgefäßes wird dann die Glasmeßkapillare mit Siegellack eingekittet und schließlich auch noch mit Quecksilber gefüllt, was leicht mit einem dünnen in die Kapillare eingeführten Eisendraht gelingt.

3. Versuchsanstellung.

Der so vorbereitete Quarzglas-Glas-Apparat kommt mit dem kurzen Schenkel in einen Nickelofen (550 Amp.). Zur Abwehr der Strahlungswärme des bei 1000° glühenden Ofens umgeben wir den freien Schenkel des Quarzgefäßes mit einem starken Asbestschirm, über den eine ständige Kühlung einen Wasserfall ergießen läßt. Nach Notierung des Quecksilberstandes

in der Meßkapillare bei der Temperatur T^x wird dann mit der Heizung der Quarzkugel auf 1000° begonnen. Das Quecksilber steigt durch Ausdehnung in den weiteren Zylinder, in den die Meßkapillare ausläuft, und übt so im Verein mit dem Atmosphärendruck auf das zum Diffundieren bestimmte Gas 3 Atm. aus. Um ein deutlich meßbares M für die diffundierende Gasmenge zu bekommen, mußte ich wegen des geringen zur Verwendung kommenden Druckes die Versuchsdauer auf 5 Stunden ausdehnen, was bei Verwendung der Wechselstromtransformationsanlage keine Schwierigkeit bietet. Nach einer genügend langen Abkühlungszeit — 10 Stunden sind nötig, damit alles Quecksilber wieder die Temperatur T^x annimmt — kann dann der neue Stand des wieder in die Meßkapillare zurückgetretenen Quecksilbers gemessen und M ausgerechnet werden.

4. Versuchsergebnisse.

I. Versuch: 1000° 3 Atm. 18000 sec $M = 0{,}063\ cm^3$

$q \doteq 1{,}11\ cm^2$
$l \doteq 0{,}08\ cm$

$$k_{10000} = 0{,}000008_3 \frac{cm^2}{sec}$$

Der hier berechnete Diffusionskoeffizient zeigt keine zu große fehlerhafte Abweichung von dem aus den Diffusionsversuchen in der Bombe berechneten Diffusionskoeffizienten, so daß also das Henrysche Gesetz zu gelten scheint. Die Abweichung der beiden Werte erklärt sich vor allem durch die Unsicherheit des Absorptionskoeffizienten α_{1000^0}, der mit dem Faktor 800 in die Rechnung eingeht, weiter durch die Abweichungen der Quarzkugeln von der Kugelform, Ungleichmäßigkeiten der Wandstärke, Anstiegzeit beim Heizen des

Bombenofens auf 1000°. Daß trotzdem keine größeren Differenzen zwischen den zwei aus ganz verschiedenen Versuchsbedingungen berechneten Werten für k entstanden sind, muß man der Sicherheit, mit der beide Meßmethoden die Gasmenge M auszuwerten gestatten, zuschreiben. Erst durch die Rechnung mit den schlecht meßbaren und ungleichmäßigen Größen q, l, α wird der Wert des Diffusionskoeffizienten unsicher und fehlerhaft. Und in dieser Hinsicht muß ich den aus den Versuchen in der Bombe berechneten Diffusionskoeffizienten größere Genauigkeit beimessen, da vor allem dort der kleine Diffusionsquerschnitt bei sicher meßbarer Wandstärke fehlerfreier ist als die Messung der Wandstärke der großen ganz ungleichmäßig wandstarken Kugelschale bei den Diffusionsversuchen bei 3 Atm. außerhalb der Bombe.

II. Versuch: a) 1000° 3 Atm. 18000 sec $M = 0{,}057$ cm³

$q \doteq 1{,}2$ cm²
$l \doteq 0{,}08$ cm

$$k_{1000^\circ} = 0{,}000007 \frac{\text{cm}^2}{\text{sec}}$$

b) 1100° 3 Atm. 18000 sec $M = 0{,}0342$ cm³

c) 1000° 3 Atm. 18000 sec $M = 0{,}0178$ cm³

Die Versuche b und c wurden angestellt, um den beträchtlichen Einfluß der Absorption auf die diffundierende Menge M zu zeigen. M_{1100° ist kleiner als M_{1000°, wenn der Versuch bei 1100° auf den Versuch bei 1000° folgt (a, b); dagegen größer bei umgekehrter Reihenfolge (b, c). Zur Berechnung des Diffusionskoeffizienten können deshalb nur Diffusionsversuche mit frischem Quarz in Verwendung kommen.

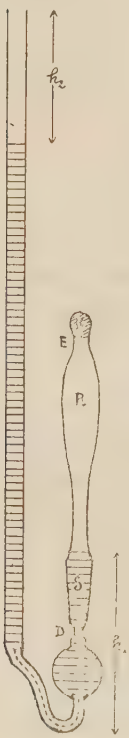
II. Absorption.

Die Versuche über Löslichkeit des Wasserstoffs im Quarz wurden zur Berechnung des Absorptionskoeffizienten α an-

gestellt, der in die Diffusionsgleichung eingeht und deshalb zur Berechnung des Diffusionskoeffizienten erforderlich ist.

Genau wie bei den Diffusionsversuchen sollte durch Sinken des Quecksilbermeniscus auf dem freien Schenkel der Absorptionsgefäße das Gasvolumen berechnet werden, das eine bestimmte Menge Quarz in Form von Quarzfäden (0,01 cm dünn) gesättigt aufnehmen kann. Durch Kontrollversuche, durch Austreiben der vom Quarz in der Bombe unter Druck und bei hoher Temperatur absorbierten Gasmenge aus dem Quarz durch Erhitzen auf noch höhere Temperatur als der, bei der die Absorption stattgehabt hatte, sollten die Versuchsergebnisse bestätigt werden.

(Figur 7.)



Beschreibung der Absorptionsgefäße.

(Figur 7.)

Zur Herstellung eines Absorptionsgefäßes muß ein Quarzglas×Glas-Schliff vorbereitet werden. Dann wird zunächst eine recht wandstarke Kugel K mit Ansatzrohr R geblasen. Die Kugel wird mit ungefähr 300 Stück 0,5 cm langen Stück Quarzfäden (0,01 cm bis 0,005 cm dünn) gefüllt. Die Quarzfäden werden in die Kugel etwas eingestampft und an der Verengung E etwas angeschmolzen, so daß sie nicht herausfallen können. An das Ansatzrohr R wird dann der vorbereitete Quarzschliff angesetzt, an den sich wieder eine große Kugel, zur Aufnahme von Quecksilber bestimmt, ein Kapillarbogen und das Meßrohr des freien Schenkels (0,3 cm innerer Durchmesser) wie bei den Diffusionsgefäßen anschließen.

Die gutgetrockneten Gefäße wurden genau wie die Diffusionsgefäße mit Wasserstoff gefüllt und mit Quecksilber abgesperrt (soweit, wie in der Figur 7 durch Schraffierung angedeutet).

Ausführung der Absorptionsversuche.

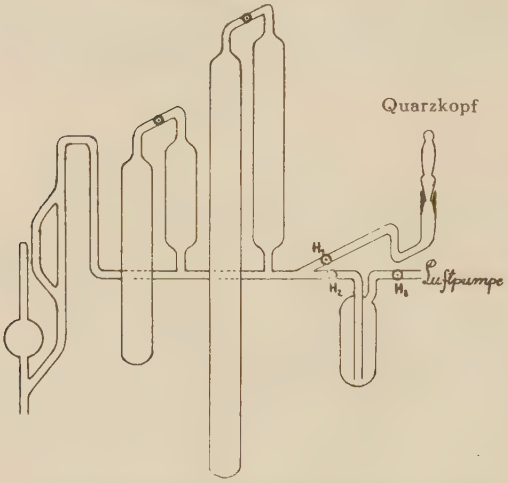
I. Teil: Versuch in der Bombe.

Nach Notierung der Quecksilbermeniscen in Form h_1, h_2 kommt das Absorptionsgefäß in die Bombe. Dort wird es unter einem Druck gegen 900 Atm. bei der Temperatur, für die der Absorptionskoeffizient bestimmt werden soll, genügend lange gelassen, so daß man auf Grund der Erfahrungen aus den Diffusionsversuchen sicher sein kann, daß Sättigung eingetreten ist. Waren die Gefäße in der angegebenen Weise gefüllt, so war nach dem Versuche auch immer noch reichlich Vorrat an Gas in den Quarzgefäßen. Nach Ablassen des Druckes bei Beendigung des Versuches in der Bombe, in derselben Weise wie bei den Diffusionsversuchen, kommt das Absorptionsgefäß in ein Wasserbad zur Abkühlung. Bei derselben Temperatur wie vor dem Versuche werden die neuen Werte von h_1, h_2 aufnotiert.

II. Teil: Kontrollversuch am Vacuumapparat.

Nach dem Versuche in der Bombe wird das Absorptionsgefäß bei D zerschnitten. Der Quarzkopf Diffusionsgefäßes wird durch Schütteln und Klopfen vom Quecksilber befreit und recht schnell mit seinem Schliff in den Mutterkonusschliff des Vacuumapparates (Figur 8) eingekittet.

Vacuumapparat (Figur 8).



Den Hauptteil bildet ein Mac Leod, der recht genau ausgemessen ist, mit vier Blindsäcken mit Hähnen, die den Mac Leod auf verschiedene Meßbereiche einzustellen gestatten. An die Blindsäcke schließt sich ein „T"-Stück mit zwei Hähnen an. Der eine Zweig führt zu dem Mutterkonusschliff aus Glas, der andere über ein Kohle-Gefäß und P_2O_5 — Trockengefäß zur Ölluftpumpe.

Ist der Quarzkopf nun an den Vacuumapparat angeschlossen, so werden die Hähne H_1, H_2, H_3 geöffnet, und es wird mit der Ölluftpumpe auf das höchst erreichbare Vacuum angepumpt. Nach Schließung des Hahnes H_3 wird dann das Kohlegefäß in flüssige Luft gesetzt, und der Vacuumapparat eine Zeit stehen gelassen. Unterdessen wird der Quarzkopf in den Nickelofen (550 Amp.) eingeführt, der von der Wechselstromtransformationsanlage geheizt werden kann, und die Vorbereitungen zur Kühlung des Quarz × Glas-schliffes werden getroffen. Die Kühlung schützt einmal den Schliff vor allzugroßer Erwärmung durch Strahlung des glühenden Nickelofens, dann wird aber auch gleichzeitig erreicht, daß sich aller aus dem Quarzkopf herauskommender Quecksilberdampf gleich am Schliff niederschlägt und nicht den Vacuumapparat verunreinigen kann.

Wenn wir ein Vacuum in der Nähe der Grenze des Meß-

bereiches des Mac Leod (0,000002 mm) haben, wird das Kohle-flüssige Luft-Gefäß abgesperrt, und das Vacuum gemessen: p_1 mm.

Der Quarzkopf wird dann auf 1200° gegen 30 Min. erhitzt.

Nach einer reichlichen Abkühlungszeit (1 Stunde) wird das Vacuum wieder gemessen: p_2 mm.

Die aus den Quarzfäden herausgekommene Gasmenge $M_2 = \frac{p_2 - p_1}{760} \cdot V$ | V das Volumen des Vacuumapparates (bestimmt durch Auswiegen mit Wasser).

Vorversuche:

Gleich nach den ersten Absorptions- und Kontrollversuchen am Vacuumapparat, die nach einem Überschlag gute Resultate lieferten, wurden die folgenden drei Vorversuche gemacht, deren Ergebnisse für die Sicherheit und Richtigkeit der Kontrollversuche Gewähr leisten.

I. Vorversuch:

Trotzdem mit den Quarzgefäßen so sauber wie möglich gearbeitet wurde, so war ich mir doch nicht ganz sicher, ob nicht etwa die Quarzkuppe beim Erhitzen auf so hohe Temperaturen schon Gase abgibt, die in der Größenordnung der ausgetriebenen Wasserstoffmengen sind.

In einem sauberen Quarzkopf mit Quarzfäden ohne absorbierten Wasserstoff wurde deshalb Quecksilber getan und gut darin erhitzt, daß es richtig zwischen die Quarzfäden dringen konnte. Wie nach einem Versuch in der Bombe wurde dann das Quecksilber aus den Quarzkopf herausgeklopft. Das Quarzköpfchen wurde an den Vacuumapparat ange-

schlossen und auf 800° 3 Mal 15 Min. erhitzt. Der mit dem Vacuummeter gemessene Druck blieb konstant.

Ergebnis: Die Gase, die bei den Kontrollversuchen aus den mit Wasserstoff gesättigten Quarzfäden durch Erhitzen in den Vacuumapparat dringen, sind wirklich und allein Wasserstoffmengen, die von den Quarzfäden unter Druck und bei hoher Temperatur in der Bombe absorbiert worden sind.

II. Vorversuch:

Ein ähnlicher Versuch wurde angestellt zur Prüfung des Einflusses des Bunsenbrenners auf eine etwaige Absorption des Quarzes durch den Wasserstoff der Flamme. Da ich die Quarzgefäße immer stark im Bunsenbrenner beim Trocknen und beim Füllen erhitzte, so war der Ausfall dieses Versuches für alle Diffusions- und Absorptions-Versuche wesentlich.

Ein Quarzkopf, der eine Stunde in einem großen Bunsenbrenner ausgeglüht wurde, kam an den Vacuumapparat. Bei hoher elektrischer Heizung 1200° 5 Min. blieb das Vacuum konstant.

Ergebnis: Der Quarz absorbiert beim Erhitzen im Bunsenbrenner keine Wasserstoffmengen von meßbarer Größe.

III. Vorversuch:

Zur Prüfung des Einflusses des Wasserstoffs der Bunsenflamme auf eine Diffusion wurde eine an den Vacuumapparat angeschlossene Quarzkuppe von außen durch einen großen Bunsenbrenner erhitzt. Das Vacuum verschlechterte sich ganz unmerklich.

Ergebnis: Der Wasserstoff der Bunsenflamme geht also so gut wie gar nicht durch eine 0,2 cm starke Quarzwand (Vacuum 0,02149 mm).

Absorptionsversuche mit Kontrollversuchen.

Die ersten Absorptionsversuche mit anschließenden Kontrollversuchen wurden bei 900° ausgeführt. Um mir einiges Geschick in der Versuchsanstellung zu erwerben und um die Versuchsergebnisse gut kontrollieren zu können, machte ich fünf gleiche Versuche bei 900° 925 Atm., deren Ergebnisse eine verhältnismäßig gute Übereinstimmung zeigten. Dann ging ich zu Absorptionsversuchen bei den anderen Temperaturen 300° bis 1000° über.

Da ich darauf zustrebte, den Absorptionskoeffizienten zu berechnen, so mußte ich noch experimentell bestimmen, wieviel Gas von der Quarzkugel, in der sich die Quarzfäden befanden, allein während der Versuchsdauer aufgenommen wird. Ich ließ deshalb zwei zu den Quarzkugeln, in denen sich Quarzfäden befanden, identische Quarzkugeln ohne Quarzfäden anfertigen und bestimmte durch Versuche in der Bombe und am Vacuumapparat, wieviel Gas bei den verschiedenen Temperaturen von den Quarzkugeln allein absorbiert wird.

Das waren gleichzeitig Diffusionsversuche mit unendlich starker Wandstärke. Da mich diese Art Diffusionsversuche mit anschließenden Kontrollversuchen sehr interessierte, so machte ich noch folgende Versuche und bestätigte dabei gleich das Gesetz $M = K \gamma \sqrt{t}$ für die unendlich lange Diffusionswand.

M_1 = die in der Bombe diffundierende Gasmenge

$$= - q \int_0^t k \left(\frac{\partial \varrho}{\partial x} \right)_{x=0} dt$$

M_2 = die am Vacuumapparat herausgekommene Gasmenge.

1.	900°	950 Atm.	2 Min.	$M_1 = 0{,}072$ cm³
				$M_2 = 0{,}049$ cm³
2.	900°	925 Atm.	5 Min.	$M_1 = 0{,}103$ cm³
				$M_2 = 0{,}059$ cm³

3.	900° 925 Atm. 20 Min.	$M_1 = 0{,}285$ cm³ $M_2 = 0{,}098$ cm³

Aus den Versuchen sieht man, daß M_1 und M_2 am meisten bei 20 Min., am wenigsten bei 2 Min. von einander abweichen. Diese Tatsachen erklären sich dadurch, daß beim Erhitzen der Quarzkugel am Vacuumapparat nur das in einer bestimmten Kugelschale konzentrierte Gas in das Vacuum wieder abgegeben werden kann. Ist die Diffusion weiter fortgeschritten, wie jedenfalls bei 20 Min. Versuchsdauer, so gelangt nur ein Teil von M_1 wieder in das Vacuum.

Übersicht über die Absorptionsversuche.

1000°.

XXIII.	Quarzfäden und Quarzkugel 1000° 950 Atm. 5 Min.	$M_1 = 0{,}512$ cm³ $M_2 = 0{,}268$ cm³
XXV.	Quarzfäden und Quarzkugel 1000° 950 Atm. 5 Min.	$M_1 = 0{,}494$ cm³ $M_2 =$ nicht gemessen.
XXIV.	Quarzkugel 1000° 950 Atm. 5 Min.	$M_1 = 0{,}184$ cm³ $M_2 = 0{,}084$ cm³
XXVI.	Quarzkugel 1000° 950 Atm. 5 Min.	$M_1 = 0{,}145$ cm³ $M_2 =$ nicht gemessen.

900°.

I.	Quarzfäden und Quarzkugel 900° 950 Atm. 5 Min.	$M_1 = 0{,}479$ cm³ $M_2 =$ nicht gemessen.
II.	Quarzfäden und Quarzkugel 900° 950 Atm. 5 Min.	$M_1 = 0{,}452$ cm³ $M_2 =$ nicht gemessen.
III.	Quarzfäden und Quarzkugel 900° 900 Atm. 5 Min.	$M_1 = 0{,}422$ cm³ $M_2 =$ nicht gemessen.

IV.	Quarzfäden und Quarzkugel 900° 925 Atm. 5 Min.	$M_1 = 0{,}484$ cm³ $M_2 = 0{,}219$ cm³
V.	Quarzfäden und Quarzkugel 900° 850 Atm. 5 Min.	$M_1 = 0{,}421$ cm³ $M_2 = 0{,}259$ cm³
VII.	Quarzfäden und Quarzkugel 900° 925 Atm. 5 Min.	$M_1 = 0{,}398$ cm³ $M_2 = 0{,}289$ cm³
XXI.	Quarzfäden und Quarzkugel 900° 950 Atm. 5 Min.	$M_1 = 0{,}516$ cm³ $M_2 = 0{,}292$ cm³
IX.	Quarzkugel 900° 925 Atm. 5 Min.	$M_1 = 0{,}094_5$ cm³ $M_2 = 0{,}053$ cm³
XIII.	Quarzkugel 900° 925 Atm. 5 Min.	$M_1 = 0{,}103_2$ cm³ $M_2 = 0{,}059_3$ cm³
XIV.	Quarzkugel 900° 925 Atm. 20 Min.	$M_1 = 0{,}285$ cm³ $M_2 = 0{,}098$ cm³
XVI.	Quarzkugel 900° 950 Atm. 2 Min.	$M_1 = 0{,}072_5$ cm³ $M_2 = 0{,}048_7$ cm³

800°.

XV.	Quarzfäden und Quarzkugel 800° 925 Atm. 5 Min.	$M_1 = 0{,}462$ cm³ $M_2 = 0{,}318$ cm³
XXVII.	Quarzfäden und Quarzkugel 800° 950 Atm. 5 Min.	$M_1 = 0{,}429_8$ cm³ $M_2 =$ nicht gemessen.
XVIII.	Quarzkugel 800° 950 Atm. 5 Min.	$M_1 = 0{,}070_5$ cm³ $M_2 = 0{,}051$ cm³

700°.

X.	Quarzfäden und Quarzkugel 700° 850 Atm. 5 Min.	$M_1 = 0{,}348$ cm³ $M_2 = 0{,}310$ cm³

XI.	Quarzfäden und Quarzkugel 700° 850 Atm. 5 Min.	$M_1 = 0{,}371$ cm³ $M_2 = 0{,}311$ cm³
XVII.	Quarzkugel 700° 925 Atm. 5 Min.	$M_1 = 0{,}052$ cm³ $M_2 = 0{,}059$ cm³

600°.

XX.	Quarzfäden und Quarzkugel 600° 900 Atm. 16 Min.	$M_1 = 0{,}338$ cm³ $M_2 = 0{,}322$ cm³
XIX.	Quarzkugel 600° 925 Atm. 16 Min.	$M_1 = 0{,}067$ cm³ $M_2 = 0{,}048$ cm³

400°.

XXXI.	Quarzfäden und Quarzkugel 400° 875 Atm. 25 Min.	$M_1 = 0{,}211$ cm³ $M_2 = 0{,}235$ cm³
XXIX.	Quarzkugel 400° 875 Atm. 25 Min.	$M_1 = 0{,}029$ cm³ $M_2 =$ nicht gemessen.

300°.

XXXII.	Quarzfäden und Quarzkugel 300° 875 Atm. 30 Min.	$M_1 = 0{,}205$ cm³ $M_2 = 0{,}214$ cm³

Um einen tieferen Einblick in die Absorptionsversuche zu geben, seien die Versuchsdaten zweier Versuche ‚Quarzfäden und Kugel' und ‚Quarzkugel' ausführlicher wiedergeben.

Versuch XV. Quarzfäden und Quarzkugel.

I. Teil: Versuch in der Bombe
vor dem Versuch $h_2 = 2{,}76$ cm; $h_1 = 7{,}41$ cm
800° 925 Atm. 5 Min.

nach dem Versuch $h_2 = 7{,}35$ cm; $h_1 = 9{,}17$ cm

$\Delta h_2 = 4{,}59$ cm

$M_1 = \Delta h_2 \cdot \pi r^2 = 4{,}59 \cdot \pi \cdot 0{,}179^2 = 0{,}462$ cm³

II. Teil. Versuch am Vacuumapparat.

1. Vacuum vor 0,004322 mm

Quarzfäden und Quarzkugel auf 800° erhitzt, 5 Min.

Vacuum nach 0,047370 mm

$\Delta p = 0{,}043048$ mm

2. Vacuum vor 0,005261 mm
   auf 1200° 10 Min. erhitzt.
   Vacuum nach 0,023990 mm

3. Vacuum vor 0,023990 mm
   auf 1200° 10 Min. erhitzt.
   Vacuum nach 0,025180 mm

4. Vacuum vor 0,025180 mm
   auf 1200° 10 Min. erhitzt.
   Vacuum nach 0,025180 mm

Summe der Druckdifferenzen $= \Sigma \Delta p = 0{,}062967$ mm

$$M_2 = \frac{3841}{760} \cdot \Sigma \Delta p = 0{,}3182 \text{ cm}^3$$

Volumen des Vacuumapparates = 3841 cm³.

Versuch XVIII. Quarzkugel.

I. Teil: Versuch in der Bombe

vor dem Versuch $h_2 = 3{,}30$ cm; $h_1 = 8{,}85$ cm

800° 950 Atm. 5 Min.

nach dem Versuch $h_2 = 4{,}00$ cm $h_1 = 9{,}10$ cm

$\Delta h_2 = 0{,}7$ cm

$M_1 = 0{,}7 \cdot \pi \cdot 0{,}179^2 = 0{,}07047$ cm³.

II. Teil: Versuch am Vacuumapparat.

1. Vacuum vor 2,9 Skalenteile → 0,001921 mm
   Quarzkugel auf 800° erhitzt 5 Min.
   Vacuum nach 4,5 Skalenteile.

2. Vacuum vor 4,5 Skalenteite
   auf 1200° erhitzt 10 Min.
   Vacuum nach 6,8 Skalenteile.

3. Vacuum vor 6,8 Skalenteile
   auf 1200° erhitzt 10 Min.
   Vacuum nach 7,1 Skalenteile.

4. Vacuum vor 7,1 Skalenteile
   auf 1200° erhitzt 10 Min.
   Vacuum nach 7,2 Skalenteil → 0,01200 mm

$$\Sigma \Delta p = 0{,}010079 \text{ mm}$$

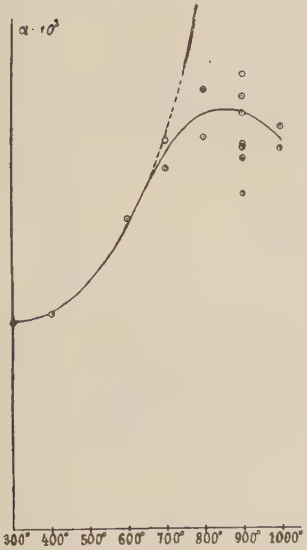
$$M_2 = \frac{3841}{760} \cdot \Sigma \Delta p = 0{,}0509 \text{ cm}^3$$

Aus den Resultaten der Übersicht über die Absorptionsversuche ersieht man, daß M_1 und M_2 bei hoher Temperatur sehr von einander abweichen, dagegen gut bei 300° und 400° übereinstimmen. Die fehlende Gasmenge $M_2 - M_1$ ist infolge des Temperaturunterschiedes in der Zeit zwischen Versuch in der Bombe und Kontrollversuch aus den Quarzfäden entwichen. Diese Erscheinung konnte ich unmittelbar bestätigen, wenn ich nach dem Anschließen der Quarzkugel mit gesättigten Quarzfäden das Vacuum, ohne zu heizen, eine Weile stehen ließ. In 19 Min. verschlechterte sich dann z. B. das Vacuum ganz merklich von 0,00384 mm auf 0,00432 mm, d. h. es war 0,00244 cm³ Gas herausgekommen. Zufällig ließ ich ein Quarzgefäß mit gesättigten Quarzfäden bis zum anderen Tag stehen. In den ungefähr 16 Stunden war 0,0373 cm³ Wasserstoff aus

den Quarzfäden wieder herausgekommen, was ich an dem Steigen des Quecksilbermeniscus auf dem freien Schenkel deutlich wahrnehmen konnte.

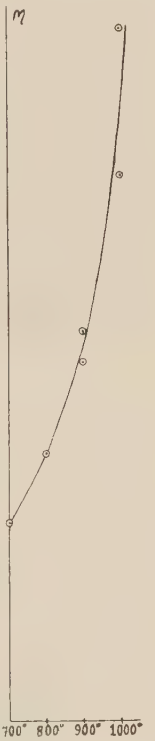
Diese Erscheinung ließ mir einen unvermeidlichen Fehler meiner Absorptionsversuche zu Bewußtsein kommen. Bei meinen Versuchen maß ich die Wasserstoffmenge, die die Quarzfäden nach einer Abkühlungszeit bei Zimmertemperatur noch in sich konzentriert hielten, nicht aber die Wasserstoffmenge, die sie bei der Temperatur, bei der ich den Absorptionskoeffizienten bestimmen will, wirklich gesättigt, aufnehmen können. Dieser Fehler zeigt sich nun auch in der Kurve der von mir bestimmten Absorptionskoeffizienten. Die Absorptionskoeffizienten wachsen schon von 800° nicht mehr stark exponential an. Bei 900° zeigt die Kurve sogar einen Knick, so daß der Absorptionskoeffizient bei 1000° schon nicht mehr größer als bei 900° ist. Ich nehme an, daß α in Wirklichkeit mit der Temperatur so wie die punktierte Kurve wächst, da die von der Quarzkugel allein aufgenommenen Mengen wie Figur 10 zeigt, wie bei den früheren Diffusionsversuchen mit der Tem-

$\alpha_u = \alpha_\delta$ (Temperatur).



(Figur 9.)

$M = M(\alpha_T, k_T)$ für Quarzkugel ohne Quarzfäden.



(Figur 10.)

peratur so stark exponential zunehmen. Natürlich ist diese Begründung nicht ganz streng, da in die von den Quarzkugeln allein aufgenommenen Mengen der Diffusionskoeffizient mit eingeht $M = M(k_1, \alpha_T)$ und auch in Wirklichkeit in Übereinstimmung mit der mathematischen Behandlung (k und α unabhängige Größen) Diffusionsvorgänge existieren, bei denen zum kleineren α das größere k, und zum größeren α das kleinere k gehört.

Bei der Auswertung der Diffusionskoeffizienten bei 900° und 1000° benutzte ich für α Punkte von beiden Kurven. Die Rechnung zeigt, daß trotz der Anwendung der punktierten Kurve, $k_{(T)}$ noch stark exponential wächst, wodurch die Annahme der punktierten Kurve wenn auch nicht als berechtigt nachgewiesen, so doch wenigstens nicht widerlegt wird.

Absorptionskoeffizienten.

Zur Berechnung von α benutzte ich für die von den Quarzfäden selbst absorbierten Gasmengen die Differenz: $\Delta M_1 = M_1$ (Quarzfäden und Kugel) $- M_1$ (Quarzkugel). Das Volumen der Quarzfäden wurde durch Wiegen der gereinigten Quarzfäden zu $\frac{0{,}0815}{2{,}22}$ cm³ $= 0{,}0367$ cm³ bestimmt (2,22 spez. Gew. des Quarzes) $\alpha = \frac{\Delta M_1}{p \cdot 0{,}0367}$

1000°.

XXIII. $\Delta M_1 = 0{,}3679$ cm³ $\alpha = 0{,}01055$

XXV. $\Delta M_1 = 0{,}3489$ cm³ $\alpha = 0{,}01003$

900°.

XXI. $\Delta M_1 = 0{,}4166$ cm³ $\alpha = 0{,}01195$

IV. $\Delta M_1 = 0{,}3853$ cm³ $\alpha = 0{,}01135$

I. $\Delta M_1 = 0{,}3803$ cm³ $\alpha = 0{,}01091$
II. $\Delta M_1 = 0{,}3531$ cm³ $\alpha = 0{,}01013$
III. $\Delta M_1 = 0{,}3229$ cm³ $\alpha = 0{,}00977_5$
V. $\Delta M_1 = 0{,}3219$ cm³ $\alpha = 0{,}01002$
VII. $\Delta M_1 = 0{,}2988$ cm³ $\alpha = 0{,}008800$

800°.

XV. $\Delta M_1 = 0{,}3916$ cm³ $\alpha = 0{,}01153$
XXVII. $\Delta M_1 = 0{,}3593$ cm³ $\alpha = 0{,}01030$

700°.

XI. $\Delta M_1 = 0{,}3192$ cm³ $\alpha = 0{,}01023$
X. $\Delta M_1 = 0{,}2961$ cm³ $\alpha = 0{,}009486$

600°.

XX. $\Delta M_1 = 0{,}2706$ cm³ $\alpha = 0{,}00819$

400°.

XXXI. $\Delta M_1 = 0{,}1821$ cm³ $\alpha = 0{,}005669$

300°.

XXXII. $\Delta M_1 = 0{,}1761$ cm³ $\alpha = 0{,}005483$

Die Absorption von Wasserstoff im Quarz (Temperatur 700° bis 1000°) zeigt sich von derselben Größenordnung wie die von Wasserstoff im Wasser (Zimmertemperatur). Zum Vergleiche seien noch die folgenden Absorptionskoeffizienten von Bunsen angeführt.

Absorptionskoeffizienten berechnet aus Versuchen bei 76 cm Hg.

		Absorbierende Flüssigkeit H_2O		Absorbierende Flüssigkeit C_2H_5OH
0°	H	0,01930	H	0,06925
10°	H	0,01930	H	0,06786
20°	H	0,01930	H	0,06668
0°	O	0,04114	O	0,28397
10°	O	0,03250	O	0,28397
20°	O	0,02838	O	0,28397
0°	N	0,02035	N	0,12634
10°	N	0,01607	N	0,12276
20°	N	0,01403	N	0,12038

Anmerkung: In der Natur spielt sich bei den Vulkaneruptionen ein Absorptionsvorgang mit nachfolgendem explosionsartigen Austritt der Gase ab. Die Bestandteile der festen Lava, Mineralien, vor allem kieselsaure Verbindungen (Quarz, Augit, Hornblende, Biotit) vereinigen sich unter dem gewaltigen Druck bei der hohen Temperatur mit Gasen Wasserstoff, HCl, CO_2, SO_2, Chlor zu einer glühend flüssigen homogenen Lösung, der Lavamagma. Durch Verschiebungen in der Erdrinde und anderen Gleichgewichtsstörungen kommt der enorme Druck, unterstützt durch die hohe Temperatur, zur Wirkung. ‚Eine Öffnung reißt auf, wenn ein Spalt vorhanden ist, und mit unwiderstehlicher Gewalt brechen explosionsartig die Massen hindurch, die Gase mit dem emporgerissenen Magma.‘[1])

[1]) Brauns, Erdbeben und Vulkane.

III. Teil.

Diffusionsversuche mit Sauerstoff und Stickstoff.

Die Diffusionsversuche mit Sauerstoff und Stickstoff wurden in Quarzgefäßen derselben Konstruktion wie bei den Wasserstoffversuchen angestellt.

1. Stickstoff.

Bei Stickstoff ergab sich bei zwei Versuchen bei 900° 1000 Atm. 5 Min. für M eine sehr geringe Menge (0,0028 und 0,0039 cm^3), die von der diffundierenden Wasserstoffmenge für 300° 850 Atm. 5 Min. sogar noch übertroffen wird. Wenn diese geringe Gasmenge M wirklich auf Diffusion zurückzuführen ist und nicht etwa auch auf Verunreinigungen des Stickstoffs durch Sauerstoff, so kann wegen der geringen Größe von M der Stickstoff als ein Gas mit einem Diffusionskoeffizienten von viel niederer Größenordnung wie der des Wasserstoffes bezeichnet werden.

2. Sauerstoff.

Nach einem Diffusionsversuch mit Sauerstoff bei 900° 900 Atm. 5 Min. war fast kein Gas mehr im Quarzgefäß. Da der Sauerstoff wegen größerer Dichte nicht gut schneller als Wasserstoff in Quarz diffundieren kann, wurde das Fehlen

der großen Sauerstoffmenge durch eine chemische Reaktion mit dem Quecksilber, das als Absperrflüssigkeit diente, zu erklären gesucht. Auf dem Quecksilber zeigte sich auch eine schlammige Masse, die auf bei hoher Temperatur in der Bombe entstandenes Quecksilberoxyd hindeutete. Beim Erhitzen dieser Masse im Quarzgefäß entstand sofort ein rotbrauner Spiegel von Quecksilberoxyd, das nach dem Wegdampfen des Quecksilbers fein verteilt an der Wand sich festgesetzt hatte. Das Fehlen der zum Diffundieren bestimmten Sauerstoffmenge war so tatsächlich auf eine Reaktion des Sauerstoffs mit Quecksilber zurückgeführt. Da das Quecksilber als Absperrflüssigkeit unentbehrlich war, so mußten die Diffusionsversuche mit Sauerstoff aufgegeben werden.

Die Reaktion des zu den Versuchen bei hohem Druck und hoher Temperatur zur Verwendung kommenden Materials zwang mich auch schon früher zur Aufgabe der Versuche der Bestimmung von

$$M = -q \int_0^t k \left(\frac{\partial \varrho}{\partial x} \right)_{x=1} dt$$

Meinen Erfahrungen nach im Arbeiten mit hoher Temperatur ist die Beseitigung dieser chemischen Reaktion eine der größten Schwierigkeiten. Hat man diese überwunden, so ist man ein gut Stück der Möglichkeit der Ausführbarkeit und dem Gelingen der Versuche näher gekommen.

Zusammenfassung.

1. Das Eindringen von Gasblasen in die Versuchsquarzgefäße bei Versuchen in Bomben für hohe Drucke und hohe Temperaturen[1]) wird aufgeklärt: Ist Gas in einem Quarzgefäß nach einem Versuche in der Bombe, so hat das Quarzgefäß eine brüchige Stelle, an der sich aller Quarz unter dem die Zersetzung begünstigendem Einfluß der Rostteilchen in Cristobalit umgewandelt hat. Durch diese ist Gas, das in der Bombe als Zersetzungsprodukt des paraffinum liquidum in Menge entsteht, wie durch eine poröse Scheidewand in das Gefäß eingedrungen.

2. Gegen dieses störende Eindringen von Gasblasen in die Versuchsquarzgefäße wird als Schutzmittel die Quecksilberquarzhaube erfunden, eine zur Füllung mit Quecksilber bestimmte Quarzhaube, die das für einen bestimmten Versuch konstruierte Quarzgefäß zylindrisch umschließt. Die Quecksilberschutzhaube bringt den großen Vorteil mit sich, daß die Versuchsquarzgefäße auch sehr dünne (0,01 cm) Stellen aufweisen können, falls etwa Versuche wie die beschriebenen Diffusionsversuche solche dünne Wände verlangen, da der Quarz unter Quecksilber auch bei hoher Temperatur gar nicht angegriffen wird.

[1]) Des Coudres, Bombe für hohe Drucke und hohe Temperaturen. Berichte der mathem.-physik. Klasse der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig. Band XVII, S. 300.

3. Die Diffusion von Wasserstoff im Quarz erweist sich als ein Diffusionsvorgang in einem festen absorbierenden Körper, der durch die Diffusionsgleichung $\frac{\partial \varrho}{\partial t} = k \frac{\partial^2 \varrho}{\partial x^2}$ mathematisch behandelt werden kann (wie durch Messen der vom Quarz unter Druck in der Bombe absorbierten Gasmenge und der Wasserstoffmenge, die aus mit Wasserstoff gesättigtem Quarz durch Erhitzen auf höhere Temperatur als die Sättigungstemperatur ausgetrieben werden kann, bewiesen wird).

4. Die Gültigkeit des Henry'schen Gesetzes für die Absorption von Wasserstoff im Quarz wird durch Diffusionsversuche bei variablem Druck bei 1000 Atm. und 400 Atm. in der Bombe und durch Diffusionsversuche außerhalb der Bombe bei 3 Atm. bestätigt.

5. Durch Absorptionsversuche in der Bombe und durch Kontrollversuche an einem Vacuumapparat wird der Absorptionskoeffizient α für die Absorption von Wasserstoff im Quarz bei variabler Temperatur (300° bis 1000°) experimentell bestimmt. α zeigt als Funktion der Temperatur exponentialen Charakter.

6. Der Diffusionskoeffizient k wird aus der in die Quarzwand eindiffundierenden Gasmenge $M = -q \int_0^t k \left(\frac{\partial \varrho}{\partial x}\right)_{x=0} dt$ berechnet, deren Bestimmung mit Quarzgefäßen mit Quecksilberschutzhaube auch bei sehr dünner Diffusionswand (0,015 cm) gelingt (Versuchsbedingungen: 850 Atm., 300° bis 1000°). $M = -q \int_0^t k \left(\frac{\partial \varrho}{\partial x}\right)_{x=0} dt = M(\alpha_T, k_T)$ zeigt ebenso wie der daraus sich ergebende Diffusionskoeffizient k stark exponentiales Wachstum mit der Temperatur.

7. Die in derselben Weise wie mit Wasserstoff angestellten Diffusionsversuche mit Stickstoff ergeben eine kaum meßbare Größe für die eindiffundierende Gasmenge auch bei hoher Temperatur, so daß der Stickstoff als ein Gas von ganz geringem Diffusionsvermögen bezeichnet werden kann.

8. Diffusionsversuche mit Sauerstoff waren erfolglos, weil der Sauerstoff mit dem als Absperrflüssigkeit unentbehrlichen Quecksilber in Reaktion trat.

Lebenslauf.

Ich, Theodor Hermann Wüstner wurde am 15. März 1890 in Dresden als Sohn des Obersteuerinspektors Hermann Wüstner geboren und bin evangelisch-lutherischer Konfession. Nach bestandener Reifeprüfung am Gymnasium zum heiligen Kreuz Ostern 1910 habe ich mich bis heute dem Studium der Physik, Mathematik und Chemie an der Universität Leipzig gewidmet.